



Le Cirad
en 2007



Le Cirad en 2007





Le Cirad, établissement public placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère des Affaires étrangères et européennes, est un centre de coopération en recherche agronomique spécialisé dans les productions tropicales et méditerranéennes.

Ses activités relèvent des sciences du vivant et de la terre, des sciences sociales et des sciences de l'ingénieur appliquées à l'agriculture, la forêt, l'élevage, l'alimentation, les ressources naturelles et les territoires ruraux.

Le Cirad comprend trois départements scientifiques, qui rassemblent l'ensemble de ses unités de recherche : Systèmes biologiques (Bios), Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst), Environnements et sociétés (ES).

Le Cirad emploie 1 800 agents, dont 800 ingénieurs chercheurs. Il coopère avec plus de 90 pays dans le monde et dispose de pôles scientifiques à vocation régionale dans l'outre-mer français. Il accueille et forme chaque année près de 800 chercheurs et techniciens.

Son budget s'élève à 203 millions d'euros dont les deux tiers proviennent de l'Etat français.

© Cirad, mai 2008
ISBN : 978-2-87614-659-4
EAN : 9782876146594

Avant-propos

●●●●● Alors que nous écrivons ces lignes, le monde prend une fois de plus conscience que l'agriculture, dans son acception la plus large, est l'unique source de nourriture de l'humanité, mais aussi l'une des clés d'un développement équitable et équilibré pour notre planète. Comment l'importance du développement rural et du soutien aux agricultures dans leurs diversités et la complexité de leurs interactions ont-elles pu être peu à peu négligées quand il s'est agi de venir en aide aux pays les moins avancés ? L'actualité vient — s'il en était besoin — étayer l'analyse développée tout récemment par la Banque mondiale.

Aujourd'hui, une part infime de l'aide au développement est orientée vers l'agriculture alors que les plus démunis vivent dans leur majorité en zone rurale : ils sont plusieurs centaines de millions selon la FAO. La communauté internationale s'en alarme. La situation est en effet préoccupante en ce début de millénaire, mais qu'en sera-t-il dans trente ans ? En 2030, ce seront bien 8 à 9 milliards d'individus qu'il faudra nourrir, 2 à 3 milliards de plus qu'aujourd'hui.

L'enjeu est de taille pour toutes les agricultures. Celles-ci devront bénéficier de véritables sauts technologiques pour relever le défi d'une augmentation de la production alors que les contraintes environnementales, énergétiques, sociales, éthiques aussi, se font plus intenses. Et, surtout, l'accès aux ressources alimentaires devra être assuré pour tous. La crise alimentaire actuelle n'est pas une crise de l'offre, mais une crise de l'accès des populations à l'alimentation, qui intervient dans un contexte de grande fragilité des modes de régulation à différentes échelles.

Par sa mission, son histoire et l'ambition qu'il porte aujourd'hui, le Cirad est au cœur de ces problématiques : il s'agit bien de redonner à l'agriculture la place qui lui revient dans la lutte contre la pauvreté et les inégalités.

Les six axes de recherche prioritaires que le Cirad s'est donnés pour les années à venir — intensification écologique, biomasse-énergie, alimentation, santé animale et maladies émergentes, politiques publiques, espaces ruraux — soutiennent cette conviction. Ils s'inscrivent dans les orientations stratégiques de l'établissement, que le conseil d'administration de décembre a approuvées à l'unanimité, et s'appuient sur la nouvelle organisation de l'établissement.

Le rapprochement avec l'Inra, qui s'est poursuivi en 2007, va dans le même sens. Il vise à réunir un ensemble de compétences scientifiques pour répondre aux sollicitations des instances politiques et des bailleurs de fonds, en France, mais aussi sur le plan européen et international. Ainsi, la création de l'Initiative française pour la recherche agronomique internationale (Ifrai) témoigne de la volonté commune des deux établissements de peser ensemble à l'international.

Les résultats présentés dans cette nouvelle édition du rapport d'activité s'inscrivent naturellement dans les thématiques retenues par les orientations stratégiques. Ils offrent un aperçu des recherches que conduisent les équipes du Cirad et leurs partenaires.

L'intensification écologique de l'agriculture est le premier des six axes de recherche que s'est fixés le Cirad. En effet, la biodiversité est le moteur des écosystèmes, elle leur permet d'évoluer, de s'adapter. Elle fait le lien entre l'écologie des populations et la dynamique des échanges et des flux au sein de la biosphère. C'est de la compréhension fine de ces mécanismes qu'émergeront les agricultures de demain, économes en intrants, soucieuses de préserver l'environnement et suffisamment productives pour nourrir le monde.

Les risques sanitaires sont au cœur de l'actualité, avec l'émergence d'épizooties liées à l'apparition de mutations biologiques et à l'essor des déplacements à l'échelle du globe. Ces maladies viennent bouleverser l'équilibre issu d'une longue histoire commune entre l'homme et l'animal, qui nous confère une résistance collective, à défaut d'une protection totale. Leurs conséquences peuvent être dramatiques, sur les plans humains et économiques. L'un des axes prioritaires des orientations stratégiques a précisément pour objectif de mieux connaître ces risques afin de les prévenir et de les maîtriser.

Les mêmes questions se posent avec les végétaux, l'enjeu étant alors de concevoir une lutte phytosanitaire efficace qui ne porte pas atteinte à l'environnement. Les pesticides font aujourd'hui l'objet de nombreuses critiques, tant pour les risques qu'ils font peser sur la santé humaine que pour les nuisances environnementales et les coûts économiques qu'ils engendrent. Concevoir des solutions pour produire des aliments sains sans altérer l'environnement est aussi l'une des thématiques retenues par les nouvelles orientations stratégiques.

Enfin, la raréfaction des ressources et les effets du changement climatique mobilisent les politiques publiques. Qu'il s'agisse de lutter contre la pauvreté et les inégalités ou de gérer durablement les ressources et les espaces ruraux, ces politiques s'appuient sur des recherches spécifiques. Pour accompagner les transformations à venir, les travaux dans ce domaine vont encore s'intensifier. C'est vers les populations les plus humbles, celles que ces évolutions pénalisent en premier lieu, que la recherche agronomique finalisée pour le développement doit se pencher en priorité.

Les orientations stratégiques qui ont été définies en 2007 marquent une nouvelle étape dans l'histoire du Cirad. L'année 2008 s'annonce donc comme une année décisive pour notre établissement, celle de la mise en œuvre d'une stratégie renouvelée.

Avant-propos

Les recherches



Explorer et exploiter la biodiversité

Un nouveau modèle **pour expliquer le photopériodisme des sorghos africains** > 10

Exploiter la **diversité des bois de teck** > 12

Les déterminants de la composition en **caroténoïdes des agrumes** > 14

Les ressources génétiques du caféier en Ethiopie > 16

Un réseau pour la gestion des ressources phytogénétiques dans la Caraïbe > 16

Une méthode **pour améliorer la précision de la sélection variétale** > 17

L'exploitation du bois en Guyane française : quel impact sur l'évolution des espèces forestières ? > 19

Un groupe international d'expertise scientifique sur la biodiversité > 21



Prévenir et gérer les risques sanitaires

Géomatique et épidémiologie : les **maladies animales vues du ciel** > 22

Comprendre et prévenir **l'émergence de la grippe aviaire** dans les pays du Sud > 24

Des fruits conservés sans fongicide > 26

Une **albumine entomotoxique** du pois dans des **riz transgéniques** > 27

La cassiicoline, une toxine produite par un **champignon pathogène de l'hévéa** > 29

Les mouches des fruits, de redoutables **ravageurs des manguiers** en Afrique de l'Ouest > 31

Puceron du coton : enquête d'identité > 33



Préserver l'environnement

Cocotiers, forêts tropicales, **productivité et flux de carbone** > 35

Oscar et Oswald, **l'identification des mauvaises herbes** assistée par ordinateur > 37

Le Liama fête son dixième anniversaire > 38

Borates et huiles végétales, **des produits prometteurs pour protéger le bois** > 39

Une nouvelle technique de bioépuration des effluents phytosanitaires > 40

Les ravageurs du cotonnier au Mali : **comment raisonner le recours aux pesticides ?** > 41

Quelles politiques pour le climat ? > 43

Les espèces endémiques à la Réunion, de la multiplication à la plantation > 44



Inventer les agricultures de demain

Les agroforêts de Guinée forestière, une exploitation durable ? > 45

Construire en partenariat **des systèmes de production durables au Brésil** > 47

Mafate, modélisation et analyse de flux de matières à l'échelle de territoires > 48

Gouvernance de l'eau à l'échelle du bassin-versant en Afrique du Sud > 50

Résoudre les conflits pour l'eau en zone périurbaine d'Amérique latine > 51

Renforcer les **organisations de producteurs au Costa Rica** > 54

Des contrats pour **mieux vendre le lait** > 56



Accompagner les transformations des espaces ruraux

Olympe, un logiciel d'aide à la décision pour les exploitations agricoles > 58

L'agriculture au service du développement : le nouveau rapport de la Banque mondiale > 59

Concevoir des **itinéraires techniques innovants** à dire d'experts > 60

Etats fragiles : genèse d'un consensus international > 61

Gamede : un modèle global pour **le fonctionnement de l'exploitation** > 62

Renouveler nos approches de l'exploitation agricole familiale > 64

Agroalimentaire et lutte contre la pauvreté en Afrique subsaharienne > 65

Le Cirad en bref

Les indicateurs > 68

Les partenariats > 75

L'organisation en avril 2008 > 79

Le dispositif géographique > 84

Les recherches





Un nouveau modèle pour expliquer le photopériodisme des sorghos africains

La sensibilité à la photopériode est une adaptation essentielle des espèces annuelles cultivées dans les régions tropicales. C'est un mécanisme d'ajustement de leur cycle aux contraintes climatiques, principalement pluviométriques. Il permet d'échapper, grâce à une date de floraison adaptée et indépendante de la date de semis, aux stress hydriques en fin de cycle et aux contraintes biotiques. Un nouveau modèle pour rendre compte de ce mécanisme vient d'être proposé dans le cadre d'une thèse réalisée au Cirad.

●●●●● **La complexité de la réaction photopériodique du sorgho** a fait l'objet de nombreuses études, mais aucune n'a pu aboutir à un modèle unique qui expliquerait la plasticité et la diversité de la phénologie de cette espèce. Une nouvelle étude, réalisée au Cirad, propose un modèle innovant, appelé Impatience, qui repose sur un concept emprunté aux sciences du comportement animal : dans le cas d'une attente prolongée du « bon » signal environnemental, la plante abaisse progressivement son exigence par rapport à la durée du jour qui déclenche sa floraison. Ce modèle, très simple, a été validé avec succès pour toute une gamme de génotypes.

Deux applications pratiques en sont issues, l'une pour les recherches en génétique, l'autre dans le cadre agronomique et écologique. Pour la génétique, une méthode de phénotypage des plantes a été développée à l'aide du modèle. Elle permet de paramétrer la sensibilité variétale à la photopériode des génotypes. Ce mode de caractérisation du matériel se prête aux études de génétique moléculaire, par QTL (*quantitative trait loci*) ou par cartographie d'association à l'aide de marqueurs, et donc à la sélection de génotypes adaptés à un environnement climatique spécifique. Pour une utilisation agroécologique, le modèle Impatience a été incorporé au modèle de simulation de croissance SarraH. L'outil résultant permet d'identifier les zones où l'adaptation des variétés est optimale, en se fondant sur l'adéquation de leur réponse photopériodique aux caractéristiques

de durée de la saison des pluies en Afrique de l'Ouest. Il permet également d'analyser la flexibilité des calendriers culturels en fonction du lieu et du génotype et de déterminer le potentiel de production et ses variations interannuelles.

Deux études complémentaires viennent étayer ces recherches. La première vise à déterminer les caractéristiques de l'agrobiodiversité des sorghos africains en relation avec la typologie des contraintes environnementales. La seconde analyse l'élaboration du rendement en fonction d'idéotypes privilégiés par la sélection. Il s'agit notamment de créer des variétés combinant un profil spécifique de réponse photopériodique et un indice de récolte amélioré pour une meilleure adaptation aux aléas climatiques et une meilleure production.

En effet, en raison des particularités de leur rythme de développement et de croissance, les sorghos photopériodiques, traditionnellement de grande taille, présentent une panicule de taille limitée, qui entraîne un faible indice de récolte et limite le rendement. En comparant des matériels différents mais apparentés, on a pu déterminer que le photopériodisme associé à une réduction de taille et à la sénescence tardive des feuilles conduit à une meilleure répartition des assimilats, d'où un indice de récolte amélioré et des rendements sensiblement plus élevés et stables. Les études se poursuivent pour valider sur une base plus large ces résultats. Si elles confirment ces premières données, il sera alors possible de jeter les bases

Partenaires

International Crop Research
Institute for the Semi-Arid
Tropics (Icrisat, Mali),
Institut d'économie rurale
(IER, Mali).

d'une révolution verte fondée sur la création d'un matériel nouveau, lequel remplacera les variétés insensibles à la photopériode et à large adaptabilité, qui n'ont pas répondu aux attentes des agriculteurs des savanes africaines.

Contact > Michael Dingkuhn,
unité Plasticité phénotypique et performance
des cultures,
michael.dingkuhn@cirad.fr

Bibliographie

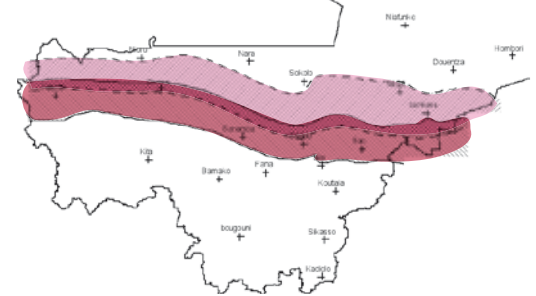
Dingkuhn M., Kouressy M., Vaksman M., Clerget B., Chantereau J., 2008. A model of sorghum photoperiodism using the concept of threshold-lowering during prolonged appetence. *European Journal of Agronomy*, 28 : 74-89 (doi:10.1016/j.eja.2007.05.005).

Kouressy M., 2007. Adaptation agroécologique et potentialités des sorghos photopériodiques à paille courte au Mali. Thèse de doctorat, université Montpellier II, 161 p.

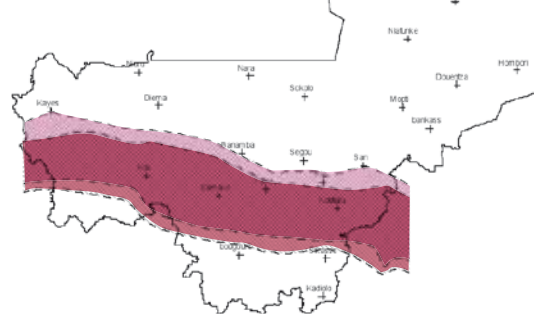
Kouressy M., Dingkuhn M., Vaksman M., Clément-Vidal A., Chantereau J., 2008. Potential contribution of dwarf and leaf longevity traits to yield improvement in photoperiod sensitive sorghum. *European Journal of Agronomy* (doi:10.1016/j.eja.2007.07.008).

Kouressy M., Dingkuhn M., Vaksman M., Heinemann A.B., 2007. Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. *Agricultural and Forest Meteorology* (doi:10.1016/j.agrformet.2007.09.009).

CSM 63 pour un semis précoce (■) et un semis retardé (■).



CSM 388 pour un semis précoce (■) et un semis retardé (■).



Les zones optimales de culture pour deux variétés de sorgho, CSM 63 et CSM 388, au Mali, déterminées par la modélisation de leur réponse photopériodique croisée avec des données agroclimatiques.

Les sorghos photopériodiques, traditionnellement de grande taille, présentent une panicule de taille limitée : ici une variété du Mali. © M. Vaksman/Cirad





Exploiter la diversité des bois de teck

Le teck est un bois de plus en plus apprécié pour sa résistance et ses qualités esthétiques. Aujourd'hui, les forêts naturelles d'Asie dont il est originaire sont en voie de disparition ou protégées, et le bois commercialisé provient essentiellement de plantations situées dans une trentaine de pays tropicaux sur tous les continents. D'où l'intérêt d'étudier l'influence du milieu sur la croissance de l'arbre et sur la qualité du bois qu'il produit. Pour proposer aux planteurs le matériel végétal le mieux adapté à leurs besoins.

●●●●● **Le bois de teck**, réputé autant pour sa résistance aux agents de dégradation que pour ses qualités esthétiques et technologiques, est de plus en plus prisé et la demande mondiale ne cesse d'augmenter. Les forêts naturelles du Myanmar, d'Inde, du Laos et de Thaïlande, dont il est originaire, sont en voie de disparition ou protégées, et le teck commercialisé provient aujourd'hui essentiellement des 3 à 4 millions d'hectares de plantations d'Asie (Indonésie, Inde) et d'Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin, Ghana), où l'espèce a été introduite avec succès. Récemment, des sociétés privées ont installé des plantations intensives en Amérique latine (Brésil, Colombie, Equateur, Costa Rica), en Afrique de l'Est (Tanzanie) et en Australie.

Les études du Cirad sur la génétique du teck ont commencé en Côte d'Ivoire par des essais de provenances et de sylviculture, qui ont permis d'introduire de nombreuses provenances, de décrire le comportement de l'espèce en plantation et de fournir les premières variétés améliorées.



Echantillons de bois de tecks clonaux âgés de 6 ans de bonne qualité.
© O. Monteuis/Cirad

Les recherches ont pour objectif de comprendre l'influence de l'environnement sur la croissance et la forme des arbres, ainsi que sur la qualité du bois. Il s'agit de proposer aux planteurs le matériel végétal — graines ou clones — le mieux adapté à leurs besoins. Les études ont porté sur des peuplements et des échantillons de bois originaires de Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo et, plus récemment, de Malaisie (Sabah). Quelques échantillons provenant du Myanmar, du Brésil, de Tanzanie et de Colombie ont aussi été analysés.

Des plantations clonales en pleine expansion

La première étape a consisté à déterminer la variabilité des arbres au sein des populations d'origine, sur la base de critères à forte incidence économique, et à sélectionner les individus combinant les caractères recherchés pour les programmes d'amélioration par voie générative. Parallèlement, grâce au clonage par bouturage ou microbouturage industriel, mis au point en collaboration avec le groupe malaisien Yayasan Sabah, des plantations clonales ont été créées. Elles sont actuellement en pleine expansion. Elles viennent remplacer les plantations issues de semis tout-venant, qui présentent de faibles taux de germination et sont particulièrement hétérogènes.

Pour maximiser les retours sur investissement de ces plantations clonales, les planteurs misent sur le volume et la qualité du bois. De nouveaux critères, comme les caractéristiques physico-chimiques du bois, viennent depuis peu s'ajouter

Partenaires

Forestry Research Institute of Ghana (Frig, Ghana), Société de développement forestier (Sodefor, Côte d'Ivoire), Université de Lomé (Togo), Yayasan Sabah Group (Malaisie).

aux critères classiques pour affiner la sélection initiale des individus. L'étude, en cours, de l'influence des conditions environnementales sur les propriétés technologiques du bois devrait permettre de proposer des variétés de qualité, dont certaines seront suffisamment plastiques pour convenir à différents milieux.

La durabilité du bois : un critère de qualité essentiel

Le teck issu de plantations est récolté de plus en plus jeune, et sa qualité est très variable : proportion d'aubier et de bois de cœur, couleur, propriétés technologiques, résistance aux agents de dégradation, toutes ces caractéristiques varient fortement. Par exemple, la résistance aux champignons lignivores est, selon une norme européenne, de classe 1 (très durable), voire 2 (durable), pour les bois des forêts naturelles, mais varie de 1 à 4 (peu durable) pour les bois de plantations. La durabilité naturelle du bois, étroitement liée à la

nature de certains de ses constituants chimiques, dépend de l'âge de l'arbre, de son environnement et de son génome. Plusieurs centaines d'échantillons de teck provenant d'arbres âgés de 5 à 40 ans et d'origines diverses ont été testés pour leur durabilité par le laboratoire de préservation des bois du Cirad. La base de données qui en est résultée permet, entre autres, de prédire la classe de durabilité naturelle d'échantillons de teck grâce à la spectroscopie dans le proche infrarouge.

D'autres travaux sont également entrepris depuis quelques années, comme la modélisation de la croissance pour estimer la production et les études de génétique moléculaire réalisées avec la Côte d'Ivoire, le Togo et le Ghana. Ces dernières ont déjà abouti à la création d'une banque de marqueurs moléculaires nucléaires de type microsatellites, qui permettra, à terme, de déterminer l'origine géographique des tecks à partir de leur ADN. D'autres études sont dès lors envisageables, comme le marquage génétique pour le contrôle de qualité en multiplication, l'identification clonale pour des aspects commerciaux, l'évaluation des flux de gènes dans les parcelles semencières et le contrôle génétique des caractères d'intérêt.

Les atouts majeurs du Cirad résident dans les multiples partenariats qu'il a noués sur l'ensemble de la filière dans de nombreux pays et dans les connaissances sur les ressources génétiques de l'espèce qu'il a acquises. Ils lui permettent d'aborder toutes les thématiques liées à la production d'un bois de qualité.

Contact > Gilles Chaix, unité Diversité génétique et amélioration des espèces forestières, Olivier Monteuis, unité Développement et amélioration des plantes (UMR Dap), Nadine Amusant, unité Production et valorisation des bois tropicaux, gilles.chaix@cirad.fr

Bibliographie

Chaix G., Goh D.K.S., Baillères H., Boutahar N., Monteuis O., 2007. New techniques for upgrading the selection of teak genotypes and their clonal propagation. *In* : Processing and marketing of teak wood products of planted forests, 25-28 septembre 2007, Peechi, Inde.

Goh D.K.S., Chaix G., Baillères H., Monteuis O., 2007. Mass production and quality control of teak clones for tropical plantations: the Yayasan Sabah Group and CIRAD joint project as a case study. *Bois et forêts des tropiques*, 293 : 65-77.

Une plantation clonale de tecks malaisiens de 18 mois, au Brésil.
© G. Chaix/Cirad





Les déterminants de la composition en caroténoïdes des agrumes

Les agrumes sont des fruits particulièrement riches en caroténoïdes. Ils leur doivent leurs couleurs, leur goût et nombre de leurs qualités nutritionnelles. Une série d'études menées par le Cirad a permis d'établir une relation entre la composition en caroténoïdes des différentes espèces et la structure de la diversité génétique au sein du genre *Citrus*.

●●●●● Les caroténoïdes sont des **déterminants majeurs** des qualités organoleptiques et nutritionnelles des agrumes. Ils constituent l'une des classes les plus importantes de pigments végétaux, pour laquelle les fruits d'agrumes présentent des compositions particulièrement riches et complexes. Ainsi, plus de 100 molécules de caroténoïdes différentes ont été isolées chez les agrumes. Le Cirad a conduit une série de travaux sur la composition en caroténoïdes des différentes espèces et ses relations avec la structuration de la diversité génétique au sein du genre *Citrus*, les voies métaboliques de ces composés et les conditions environnementales.

Des substances aux multiples propriétés

Les caroténoïdes sont responsables de la couleur, interne et externe — jaune, orange ou rouge — des fruits d'agrumes. Par exemple, la β -cryptoxanthine donne aux clémentines et aux mandarines leur couleur orange vif caractéristique, tandis que le lycopène détermine la couleur rouge de certains pomeles. La composition en caroténoïdes des fruits d'agrumes constitue ainsi l'un des premiers facteurs de la qualité organoleptique des fruits frais et des jus de fruits.

Mais les caroténoïdes sont aussi des micronutriments, qui assurent de multiples fonctions biologiques. Certains caroténoïdes sont des provitamines A, composés précurseurs de la vitamine A, laquelle joue un rôle essentiel dans la vision, dans la préservation du tissu épithélial, dans la croissance osseuse et dans la reproduction. Dans les pays développés, 25 % à 35 % de la vitamine A est apportée, via les caroténoïdes, par la consommation de fruits et légumes tandis que,

dans les pays en développement, ce chiffre peut atteindre 82 %. Les caroténoïdes sont aussi des molécules antioxydantes. C'est grâce à cette propriété qu'ils pourraient prévenir certains cancers et maladies cardiovasculaires. Enfin, les caroténoïdes xanthophylles, la lutéine et la zéaxanthine, présents dans la pulpe des oranges et des mandarines, jouent un rôle important dans la vision, notamment dans la prévention de la dégénérescence maculaire liée à l'âge.

Une diversité liée à l'histoire des agrumes cultivés

Les travaux conduits par le Cirad montrent que la composition en caroténoïdes des agrumes se structure en trois groupes : le premier comprend les mandariniers, les orangers et les bigaradiers ; le deuxième, les pamplemoussiers et les pomeles ; le troisième, les cédratiers, les citronniers et les limettiers. Cette organisation, très proche de la structuration génétique globale du genre *Citrus*, suggère que la différenciation génétique à l'origine de la structuration interspécifique des teneurs en caroténoïdes est antérieure à la formation des espèces secondaires — orangers, pomeles, citronniers, limettiers, bigaradiers — à partir des trois taxons de base des formes cultivées : mandariniers, pamplemoussiers, cédratiers.

La voie de biosynthèse des caroténoïdes est bien connue chez les végétaux. Les séquences exprimées (EST) des gènes codant les enzymes de cette voie ont été isolées et séquencées pour différentes espèces dont les agrumes. Les travaux du Cirad montrent que la structuration de la diversité interspécifique des teneurs en caroténoïdes chez les agrumes est associée à cinq étapes clés de cette chaîne de biosynthèse. Le groupe des mandari-

Partenaires

Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (Ivía, Espagne), Université de Corse, région Corse.

niers et des orangers est celui où se retrouvent les plus grandes concentrations en caroténoïdes. Il explore les deux branches de la voie de biosynthèse des caroténoïdes, avec une accumulation de tous les composés. Les génotypes du groupe des cédratiers synthétisent peu de caroténoïdes. Au-delà du lycopène, ils ne synthétisent pas de xanthophylles et s'arrêtent à la β -cryptoxanthine sur l'autre branche de la chaîne. Les génotypes du groupe des pamplemoussiers ne synthétisent que des carotènes : phytoène, phytofluène, lycopène et β -carotène, généralement en faibles quantités. Ces résultats suggèrent que les étapes situées en amont de la chaîne sont limitantes pour le groupe des pamplemoussiers et des cédratiers. Les étapes catalysées par les lycopènes cyclases (LCyb et LcyE) contribuent également à la différenciation interspécifique, ainsi que la β -carotène hydroxylase (HY-b) et la zéaxanthine époxydase (ZEP), impliquées dans la formation de la β -cryptoxanthine et de la *cis*-violaxanthine à partir du β -carotène.

Une origine phylogénétique des allèles présents chez les espèces cultivées a pu être proposée pour quatre gènes sur les sept analysés. La variabilité allélique de deux gènes, *Lcy-b* et *Lcy-e*, qui codent les deux lycopènes cyclases impliquées dans la formation de l' α - et du β -carotène à partir du lycopène pourrait être associée à la diversité phénotypique. La variabilité des autres étapes clés est probablement liée à des niveaux différents d'expression des gènes correspondants. Ainsi, la sous-expression des gènes *DXS* et *PSY*, qui codent les DOXP synthase et phytoène synthase, situés en amont de la chaîne de biosynthèse, est asso-

ciée aux faibles teneurs globales en caroténoïdes du pamplemoussier et du citronnier. De même, l'absence de β -cryptoxanthine et des molécules qui en découlent dans les pamplemousses serait liée à la sous-expression du gène *HY-b*.

Une expression différenciée en fonction de l'environnement

Les conditions environnementales jouent également un rôle dans les teneurs en caroténoïdes. Au sein du groupe des mandariniers et des orangers, les conditions méditerranéennes exacerbent la différenciation interspécifique en renforçant les teneurs en β -carotène et β -cryptoxanthine des mandarines et les teneurs en lutéine, zéaxanthine et violaxanthine des oranges. A l'inverse, l'accumulation du lycopène est plus forte sous les tropiques pour le pomelo Star Ruby.

La qualité nutritionnelle des fruits et jus d'agrumes est un enjeu majeur pour l'agrumiculture de demain, et doit être prise en compte très tôt dans les schémas d'innovation variétale. Les acquis sur les déterminants de sa variabilité ouvrent la voie à une amélioration génétique ciblée en fonction des zones de production.

Contact > Patrick Ollitrault, unité Amélioration génétique d'espèces à multiplication végétative, Claudie Dhuique-Mayer, unité Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité, (UMR Qualisud)
patrick.ollitrault@cirad.fr

Bibliographie

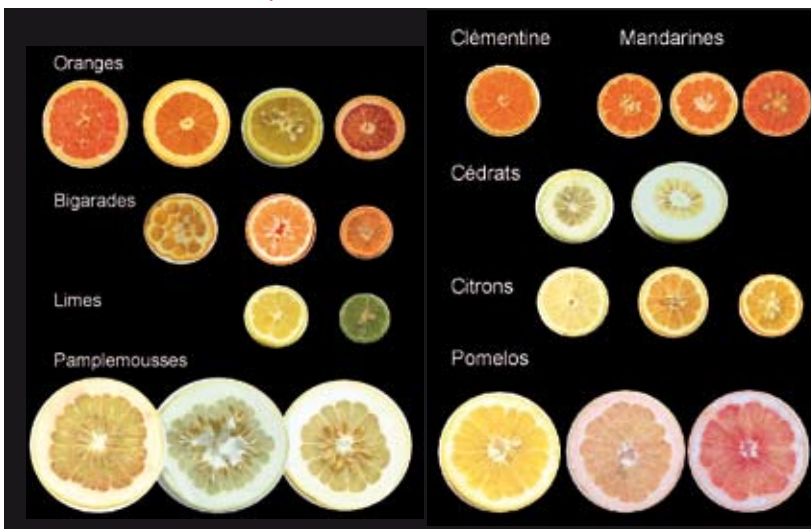
Dhuique-Mayer C., 2007. Evaluation de la qualité nutritionnelle des jus d'agrumes : estimation in vitro de la biodisponibilité des caroténoïdes. Thèse de doctorat, université Montpellier II, 114 p.

Dhuique-Mayer C., Borel P., Reboul E., Caporiccio B., Besançon P., Amiot M.J., 2007. Beta-cryptoxanthin from Citrus juices: assessment of bioaccessibility using an in vitro digestion/Caco-2 cell culture model. *British Journal of Nutrition*, 97 : 883-890.

Fanciullino A.L., 2007. Etude des déterminants génétiques et moléculaires de la variabilité des compositions en caroténoïdes au sein du genre *Citrus*. Thèse de doctorat, université de Corse, 188 p.

Fanciullino A.L., Dhuique-Mayer C., Luro F., Morillon R., Ollitrault P., 2007. Carotenoid biosynthetic pathway in the *Citrus* genus: number of copies and phylogenetic diversity of seven genes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 : 7405-7417.

La diversité de coloration des fruits d'agrumes est principalement liée à leur composition en caroténoïdes.
© A.L. Fanciullino/Cirad





Les ressources génétiques du caféier en Ethiopie



Caféiers du Harerge, en Ethiopie.
© J.-P. Labouisse/Cirad

Partenaires

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie, Costa Rica), Ethiopian Institute of Agricultural Research (EIAR, Ethiopie), Institut de recherche pour le développement (IRD), Jimma Agricultural Research Center (Jarc, Ethiopie), Université Montpellier II.

C'est dans les forêts qui recouvrent les hauts plateaux du sud-ouest de l'Ethiopie que l'on situe le centre de diversité de l'espèce *Coffea arabica*. Actuellement, les caféiers y sont exploités par simple cueillette dans leur habitat naturel, mais ils sont aussi cultivés, selon un mode plus intensif, dans les jardins traditionnels ou dans des plantations modernes. La diversité des écologies, du matériel végétal, des modes de culture et des pratiques paysannes a ainsi produit une gamme de cafés dont les profils sensoriels sont spécifiques de chaque terroir. Les caféiers d'Ethiopie sont la principale source de diversité de l'espèce arabica. Ils ont fait l'objet de plusieurs campagnes de collecte pour constituer des collections internationales à l'usage des sélectionneurs. Ils sont utilisés comme géniteurs pour créer des hybrides F1, par croisement avec des variétés commerciales, et améliorer la résistance aux bioagresseurs (nématodes, maladies) et la qualité gustative du café.

Depuis plusieurs années, le Cirad mène des recherches sur l'origine et la diversité génétique des caféiers grâce aux marqueurs moléculaires et au phénotypage biochimique par spectrométrie dans le proche infrarouge. Dans le cadre d'un projet d'amélioration du café et en collaboration avec l'EIAR, qui gère la plus riche collection mondiale d'arabica, il a participé au développement

d'une base de données qui contient le passeport de plus de 5 000 accessions conservées dans les stations de recherche d'Ethiopie. Cette collaboration se poursuit avec l'étude de la diversité génétique par marqueurs microsatellites des caféiers collectés dans le terroir du Yirga Chefe.

Contact > Jean-Pierre Labouisse, unité Résistance des plantes aux bioagresseurs (UMR RPB),
jean-pierre.labouisse@cirad.fr

Bertrand B., Vaast P., Alpizar E., Etienne H., Davrieux F., Charmetant P., 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology*, 26 : 1239-1248.

Labouisse J.P., 2007. Les systèmes de culture et les ressources génétiques du caféier *Coffea arabica* L. Montpellier, Cirad (cédérom).

Labouisse J.P., Bellachew B., Hamelin C., Kotecha S., Bertrand B., 2007. Collection and ex situ conservation of coffee landraces in Ethiopia: the example of Harerge. *In* : XXIst international conference on coffee science, Montpellier, 11-15 septembre 2006. Montpellier, Asic, p. 926-930.



Un réseau pour la gestion des ressources phytogénétiques dans la Caraïbe



Un régime de *Musa acuminata* sauvage.
© C. Jenny/Cirad

Un nouveau réseau, Capgernet*, vient d'être créé dans les Antilles. Instauré à l'issue d'un atelier de travail financé par Bioversity International et le Cardi (Caribbean Agricultural Research and Development Institute), qui s'est tenu dans le cadre d'une initiative du Global Crop Diversity Trust (GCDDT) à Trinité-et-Tobago, il a pour objectif de gérer et de conserver à long terme les ressources phytogénétiques de la zone caraïbe. Un réseau auquel le Cirad participe pleinement puisqu'il s'est vu confier la gestion de la collection de deux espèces qui font partie de la liste des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture (PGRFA) de la FAO : les bananiers et l'igname, en collaboration avec l'Inra pour cette dernière. L'atelier a aussi préconisé la sécurisation de la collection d'ananas du Cirad, voire l'inscription de l'espèce sur la liste de la FAO. Il s'agit

donc d'une reconnaissance pour le travail accompli par le Cirad en matière de gestion des ressources génétiques aux Antilles françaises. Elle vient conforter le Centre de ressources biologiques sur les plantes tropicales créé en Guadeloupe et en Martinique par le Cirad et l'Inra, afin d'assurer la conservation des ressources génétiques et de contribuer à leur diffusion.

* Capgernet : Caribbean Plant Genetic Resources Network.

Contact > Christophe Jenny, unité Amélioration génétique d'espèces à multiplication végétative,
christophe.jenny@cirad.fr

<http://collections.antilles.inra.fr/BRCPortal/>



Une méthode pour améliorer la précision de la sélection variétale

Dans les régions arides, les pluies varient beaucoup d'une année à l'autre, et le choix des variétés est particulièrement difficile. Leur sélection repose sur des essais multilocaux d'une durée moyenne de 3 ans, ce qui est trop court pour juger de leur adaptation à un environnement aussi instable. Pour rendre cette sélection plus sûre et formuler des recommandations adaptées à chaque situation, une méthode a été mise au point au Cirad. Elle prédit l'interaction génotype x environnement dans des milieux où les nouvelles variétés n'ont pas été étudiées en utilisant des données de pluies historiques ou simulées.

●●●●● Dans les régions arides ou semi-arides, comme le Sahel, la variabilité interannuelle des précipitations constitue une forte contrainte pour le choix variétal. L'agriculteur demande des variétés qui lui procurent un revenu stable, et donc peu sensibles aux variations climatiques. Pour les sélectionner, le généticien teste ses nouveaux croisements dans des essais multilocaux et pluriannuels. Il y constate généralement une forte interaction entre génotype et environnement : suivant l'année ou le lieu d'essai, les variétés ne se classent pas de la même manière.

En théorie, la sélection pour un lieu cible devrait alors porter sur un échantillon local représentant la variabilité interannuelle. Mais au Sahel, où cette variabilité est forte, il faudrait attendre environ 20 ans pour comparer les variétés avec une précision acceptable. En pratique, chaque variété n'est observée que 2 ou 3 ans, et les sélectionneurs utilisent l'information multilocale pour en déduire un comportement pluriannuel supposé. Mais ce passage informel du géographique au temporel repose avant tout sur l'expertise du sélectionneur, qui ne disposait pas jusqu'ici d'outil satisfaisant pour la valider.

Estimation des températures de surface de l'arachide.
© S. Braconnier/Cirad



De la simulation de la croissance des variétés à la prédiction de leur comportement

Pourtant, dans toutes les zones cultivées, il existe des relevés météorologiques historiques, qui rendent compte de la variabilité climatique interannuelle. Un modèle de simulation de croissance comme SarraH, conçu par le Cirad et le Ceraas, peut à partir de ces données prédire l'interaction entre génotype et environnement. En effet, ce modèle de simulation d'un couvert végétal dans son environnement ajoute à la simulation du bilan hydrique des cultures celle de la croissance de la plante et de sa réaction aux stress hydriques. Les paramètres réglant ces phénomènes sont propres à chaque variété. Ainsi, le modèle SarraH peut rendre compte d'un effet de l'environnement

Partenaires

Centre d'étude régional
pour l'amélioration de
l'adaptation à la sécheresse
(Ceraas, Sénégal),
Institut national de
la recherche agronomique
(Inra, France), Universités
Montpellier I et
Montpellier II (France).

qui n'est pas le même pour toutes les variétés, autrement dit d'une interaction entre variété et environnement. Mais les nombreux paramètres d'un tel modèle ne sont connus que pour un petit nombre de variétés. Leur estimation pour une nouvelle variété, le paramétrage, demande un essai spécifique et de nombreuses observations : elle serait bien trop coûteuse pour des variétés en cours de sélection, dont certaines sont, par définition, sans avenir.

La méthode Aplat, Approximation par linéarisation autour d'un témoin, a été mise au point au Cirad dans le cadre de la thèse d'un chercheur du Ceraas. Aplat permet d'éviter ce paramétrage coûteux et ne requiert qu'une expérimentation multilocale ou pluriannuelle classique. Toutefois, chaque essai doit comporter une variété témoin dont les paramètres sont connus, et on doit y relever les données d'entrée nécessaires à la simulation de la croissance. Dans le cas de SarraH, il suffit que ces essais soient équipés d'un pluviomètre et situés à proximité d'une station météorologique plus complète. Aplat est fondée sur la linéarisation de la réponse de la culture aux variations des paramètres variétaux de SarraH.



Comparaison de variétés
d'arachide sous différents
niveaux de stress hydriques.

© S. Braconnier/Cirad

D'une manière générale, la méthode Aplat permet de prédire le comportement de nouvelles variétés dans des environnements où elles n'ont pas été étudiées. Cette méthode générique prédit l'interaction du génotype et de l'environnement à l'aide de tout modèle de simulation de culture, en évitant le coûteux paramétrage de ce modèle pour ces nouvelles variétés. Elle améliore la précision de la sélection en permettant de simuler une gamme de milieux représentative des situations pédoclimatiques cibles de la sélection. Elle fait ainsi avancer les méthodes de sélection variétale en diminuant l'impact de l'aléa climatique sur la précision des comparaisons entre variétés.

Des tests concluants sur l'arachide

Aplat a été testée sur l'arachide avec le modèle SarraH. Les données qui ont servi à valider la méthode sont, d'une part, les données historiques d'essais agronomiques sur l'arachide conduits pendant de nombreuses années sur la station de Bambey, au Sénégal, où les données climatiques sont enregistrées régulièrement, d'autre part, les données d'un essai multilocal mené au Sénégal pendant la saison des pluies de 2005 et pour lequel 11 sites avaient été choisis. Sur l'essai multilocal mené au Sénégal, Aplat a permis de réduire de moitié les intervalles de confiance sur les écarts entre variétés.

Les avancées méthodologiques en amélioration des plantes ont des retombées inattendues en chimie. En effet, la mise en œuvre d'Aplat a nécessité l'extension de la régression PLS (*partial least squares*) à des essais à plusieurs sources de variabilité (parcelle, lieu, année). Cette extension, baptisée PLS-mixte, a une autre application immédiate en chimie, comme l'étalonnage des méthodes de mesure par absorption dans le proche infrarouge (NIRS) à partir de données obtenues au champ avec plusieurs sources de variabilité.

Contacts > Eric Gozé, unité Systèmes
de culture annuels, Ibnou Dieng, Agrhymet,
eric.goze@cirad.fr

Bibliographie

Dieng I., 2006. Mixed PLS models to predict genotype x environment interaction. *In* : XXIIIrd International biometric conference, International Biometric Society, 16-21 juillet 2006, Montréal, Canada.

Dieng I., 2007. Prédiction de l'interaction génotype-environnement par linéarisation et régression PLS-mixte. Thèse de doctorat, université Montpellier II, 133 p.

Dieng I., Gozé E., Sabatier R., 2006. Linéarisation autour d'un témoin pour prédire la réponse des cultures. *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Biologie*, 329 : 148-155.

Dieng I., Gozé E., Sabatier R., 2006. Prédiction de l'interaction génotype-environnement par linéarisation autour d'un témoin : nouveaux résultats pour la méthode Aplat. *In* : 38^e Journées de statistiques, 29 mai-2 juin 2006, Clamart, France. Société française de statistique, EDF recherche et développement.



L'exploitation du bois en Guyane française : quel impact sur l'évolution des espèces forestières ?

Dans la forêt tropicale humide en Guyane française, l'exploitation sélective du bois élimine de façon cyclique les gros arbres des espèces commerciales majeures, qui sont souvent les plus reproductifs. Elle peut modifier à long terme la démographie et la diversité génétique des populations de ces espèces. Pour étudier et prédire de tels phénomènes, le Cirad et ses partenaires développent un modèle de dynamique forestière, qui intègre les flux de gènes. Par simulation de différents scénarios d'exploitation sur plusieurs centaines d'années, ce modèle doit permettre de fixer des règles de décision pour assurer une production durable de bois.

●●●●● L'exploitation sélective du bois

peut avoir des effets contrastés sur la démographie et la diversité génétique des populations des espèces commerciales. Elle élimine en effet les gros arbres reproducteurs avec deux conséquences majeures : la diminution potentielle de la production de pollen et de graines, l'augmentation de la distance moyenne entre arbres reproducteurs. Des effets négatifs peuvent en découler sur la démographie et les flux de gènes, et affecter le maintien de la diversité génétique des populations concernées. D'un autre côté, l'exploitation forestière ouvre la

canopée et augmente la disponibilité en lumière dans toutes les strates, ce qui peut stimuler la survie et la croissance des jeunes plants et contrebalancer la disparition des arbres les plus gros.

La production durable de bois dépend alors de l'équilibre entre les deux phénomènes, et les gestionnaires forestiers ont besoin de règles de décision qui leur permettent de préserver les populations exploitées et leur diversité génétique à long terme. Pour étudier et quantifier les effets de l'exploitation en Guyane française et pour en déduire des règles de décision, le Cirad et ses partenaires développent des modèles de prédiction couplant dynamique forestière et flux de gènes pour plusieurs espèces prises comme modèles biologiques.

Un modèle pour l'angélique

Le modèle le plus complet actuellement disponible concerne une espèce commerciale majeure, l'angélique (*Dicorynia guianensis*). Il s'appuie sur des données concernant le cycle de vie de l'espèce, depuis la production de graines jusqu'à la mortalité des adultes, et les flux de gènes, grâce au génotypage de la plupart des arbres reproducteurs et des juvéniles dans une parcelle du dispositif sylvicole expérimental de Paracou. Dans le modèle, la dynamique spatio-temporelle d'une population d'angéliques interagit avec celle des populations de toutes les autres espèces d'arbre de la forêt, dont le cycle de vie est décrit

Plantule d'angélique sur le dispositif sylvicole expérimental de Paracou, en Guyane française.
© H. Wernsdörfer/Cirad



Partenaires

AgroParisTech (France),
Bureau des ressources
génétiques (BRG, France),
Centre national
de la recherche scientifique
(CNRS, France),
Groupement d'intérêt
public Ecosystèmes
forestiers (Gip Ecofor,
France), Institut national de
la recherche agronomique
(Inra, France), Muséum
national d'histoire naturelle
(MNHN, France),
Université Bordeaux I
(France), Université
des Antilles et
de la Guyane.

Arbre adulte
reproducteur de l'angélique.
© H. Wernsdörfer/Cirad

de façon moins détaillée. L'ensemble a été intégré à la plate-forme logicielle de simulation de croissance et de dynamique forestière Capsis* sous le nom de Selva.

Selva permet de simuler différents scénarios d'exploitation, par exemple en faisant varier le diamètre minimal d'exploitabilité ou la durée du cycle d'exploitation, et d'évaluer les changements des caractéristiques démographiques et génétiques de la population d'angéliques par rapport à son évolution naturelle sans perturbation.

Affiner les prédictions

Ces études ont fourni des données essentielles sur le cycle de vie de l'angélique, mais n'ont pas abordé suffisamment tous ses aspects : il manque encore, par exemple, des informations pour décrire correctement la mortalité à différents stades de développement. Ces imperfections peuvent entraîner des incertitudes sur les prédictions

du modèle. Grâce à une analyse de sensibilité, il est apparu que la mortalité dans la phase juvénile était le processus qui avait le plus d'impact sur les prédictions. Le recalibrage de cette composante à partir d'une base de données élargie permettrait d'obtenir des prédictions plus fiables et devrait être une priorité dans les prochaines années. Une autre amélioration du modèle consisterait à décrire explicitement la stimulation de la survie et de la croissance des jeunes angéliques après l'ouverture de la canopée par exploitation ou chablis naturel.

Dynamique forestière, flux de gènes et exploitation

Dans le modèle, les flux de gènes sont liés à plusieurs processus de dynamique forestière : la production de graines, qui augmente avec la taille des reproducteurs ; la dispersion spatiale des graines ; la survie et la croissance des individus à différents stades. L'exploitation sélective intervient dans ces relations en éliminant de gros arbres reproducteurs. Les simulations réalisées jusqu'à présent indiquent que l'exploitation entraîne avant tout une diminution des effectifs, l'impact sur la diversité génétique paraissant plus faible en comparaison. Des règles de décision mal adaptées aux caractéristiques démographiques de la population d'angéliques pourraient affecter son avenir, moins en appauvrissant sa base génétique qu'en limitant sa régénération.

* Capsis : Croissance d'arbres en peuplement avec simulation d'itinéraires sylvicoles.

Contacts > Holger Wernsdörfer,
Sylvie Gourlet-Fleury,
unité Dynamique des forêts naturelles,
holger.wernsdorfer@cirad.fr

Bibliographie

- Dreyfus P. *et al.*, 2005. Couplage de modèles de flux de gènes et de modèles de dynamique forestière. Les Actes du BRG, 5 : 231-250.
- Gourlet-Fleury S. *et al.*, 2005. Using models to predict recovery and assess tree species vulnerability in logged tropical forests: a case study from French Guiana. *Forest Ecology and Management*, 209 : 69-86.
- Gourlet-Fleury S. *et al.* (éd.), 2004. *Ecology and management of a neotropical rainforest*. Paris, Elsevier, 311 p.
- Wernsdörfer H. *et al.*, 2008. Sensitivity of a complex forest dynamics model. *Ecological Modelling (soumis)*.





Un groupe international d'expertise scientifique sur la biodiversité



Participants
à la consultation
régionale asiatique,
à Beijing,
en septembre 2007.
© IFB-Imoseb

Un groupe international d'expertise scientifique sur la biodiversité, à l'interface des sciences et de la politique, devrait voir le jour prochainement. C'est la conclusion à laquelle est parvenu le comité de pilotage du processus de consultation vers un Mécanisme international d'expertise scientifique sur la biodiversité (Imoseb, International Mechanism of Scientific Expertise on Biodiversity), qui s'est réuni pour la deuxième fois à Montpellier en novembre 2007, après deux ans de consultations internationales. Depuis 2005, le secrétariat exécutif du processus de consultation, confié à l'Institut français de la biodiversité (IFB), est hébergé par le Cirad.

Cette initiative vise à créer dans le domaine de la biodiversité une expertise mondiale d'une ampleur et d'une

audience comparables à celle du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec). Ce nouveau groupe aurait pour objectif de diffuser l'expertise scientifique sur la biodiversité pour tous types de décideurs, privés comme publics, en s'appuyant sur un réseau mondial de scientifiques et d'experts. Il aurait aussi la capacité de délivrer rapidement une expertise scientifique sur des questions précises, notamment en cas de crise écologique : maladie émergente, invasion biologique, pollution dramatique... Ce groupe aurait une structure hybride, avec une forte composante intergouvernementale, et intégrerait d'autres parties prenantes de la biodiversité, comme les organismes internationaux, les conventions et les grandes organisations non gouvernementales.

La prochaine étape de la création de ce groupe est la tenue, sous les auspices du Programme des Nations unies pour l'environnement (Pnue), d'une réunion intergouvernementale, où seront discutées ses modalités de gouvernance, de fonctionnement et de financement. Le mécanisme sera présenté lors de la conférence des parties de la convention sur la diversité biologique, à Bonn, en Allemagne, en mai 2008. Il devrait voir le jour fin 2008.

Contact > Didier Babin,
unité Ressources forestières et politiques publiques,
didier.babin@cirad.fr

Loreau M. *et al.*, 2006. Diversity without representation. *Nature*, 442 : 245-246.

www.imoseb.net

Prévenir et gérer les risques sanitaires



Géomatique et épidémiologie : les maladies animales vues du ciel

La géomatique, dont l'objet est de gérer des données localisées dans l'espace par leurs coordonnées géographiques, est utilisée depuis plusieurs années en épidémiologie pour observer la distribution spatio-temporelle des maladies et pour identifier les facteurs de risque environnementaux. Elle intervient dans de nombreux projets du Cirad, en particulier dans l'étude des maladies à transmission vectorielle. L'objectif est de déterminer les zones et les périodes à risque afin d'améliorer la surveillance et le contrôle de ces maladies.

●●●●● Depuis plusieurs années, les outils géomatiques — traitement d'images satellitaires et systèmes d'information géographique, notamment — sont utilisés en épidémiologie pour mieux comprendre la distribution spatio-temporelle des maladies et pour identifier les facteurs de risque environnementaux. La télé-détection, en particulier, est souvent employée dans l'étude des maladies à transmission vectorielle, car les insectes, et donc les maladies qu'ils transmettent, sont fortement liés à l'environnement. L'objectif de telles études est de caractériser les zones et les périodes à risque afin d'améliorer la surveillance et le contrôle des maladies animales et zoonotiques.

Définir des indicateurs environnementaux

Les capteurs de télé-détection mesurent le rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par les objets à la surface de la Terre puis organisent cette information sous forme d'image : chaque pixel de l'image, qui correspond à une certaine surface au sol, prend pour valeur celle du rayonnement mesuré. Différents traitements permettent de relier cette mesure à une caractéristique de l'environnement pertinente pour décrire la distribution de la maladie étudiée et son vecteur. Cette étape repose sur la collaboration des géomaticiens, des entomologistes et des épidémiologistes, afin de définir des indicateurs environnementaux ayant une signification écologique dans le cycle épidémiologique de la maladie :

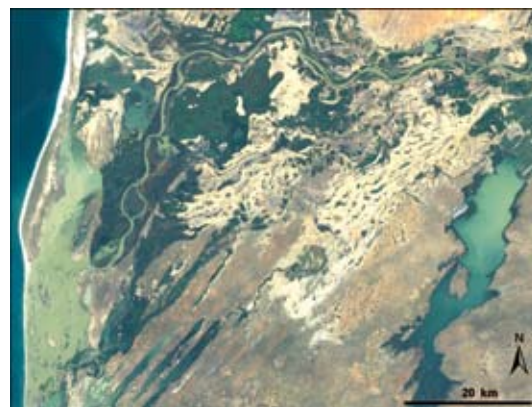
selon l'indicateur recherché, des images différentes pourront être utilisées.

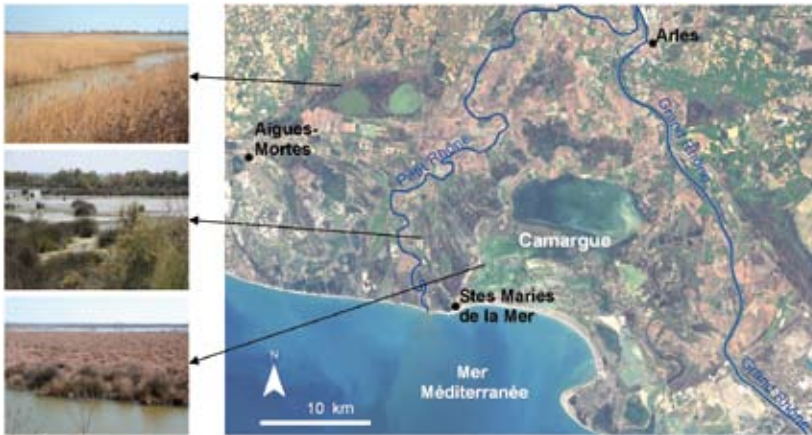
Par exemple, dans le cadre d'études sur des maladies transmises par des moustiques, des données à haute résolution spatiale ont été utilisées afin de détecter les zones humides favorables à la reproduction des moustiques : dans le cas du virus du Nil occidental, les milieux humides de Camargue, du delta du Danube ou de la vallée du fleuve Sénégal, qui constituent l'habitat des oiseaux impliqués dans la transmission de la maladie ; pour la fièvre de la vallée du Rift, les mares temporaires en zone sahélienne, au Sénégal.

Les cartes de végétation réalisées à partir des images permettent aussi d'extraire des indicateurs paysagers, qui reflètent la structure spatiale et la composition de la mosaïque d'entités (patches) de végétation. En effet, certains insectes peuvent

Dans le cadre d'études sur les maladies transmises par des moustiques, des données de télé-détection à haute résolution spatiale sont utilisées pour localiser les zones humides favorables à la reproduction des moustiques : pour la fièvre du Nil occidental, les milieux humides de la vallée du fleuve Sénégal.

Image Landsat ETM+, 4 novembre 1999, © Nasa Landsat Program





Les milieux humides de Camargue constituent des zones de contact entre les oiseaux et les moustiques potentiellement impliqués dans la transmission du virus du Nil occidental : roselière, marais à scirpes et à joncs, sansouire.
© A. Tran/Cirad, Image Landsat ETM+, 25 octobre 2001, © Eurimage

être plus sensibles à la composition du paysage — fragmentation, alternance de milieux ouverts et fermés... — qu'au type de végétation seul. Cette démarche a été adoptée pour le moucheron *Culicoides imicola*, vecteur de la fièvre catarrhale ovine dans l'ouest du Bassin méditerranéen, qui ne semble pas inféodé à un type de végétation particulier, et pour les glossines, vectrices de la trypanosomose animale au Burkina Faso, qui sont sensibles à l'impact des activités humaines sur leur milieu.

Identifier les paysages à risque

Afin d'établir la relation éventuelle entre la présence d'un vecteur et les indicateurs environnementaux calculés précédemment, une analyse statistique est nécessaire. Celle-ci va permettre d'identifier les paramètres déterminants, de quantifier cette relation et d'en évaluer la pertinence. Les systèmes d'information géographique peuvent être utilisés au cours de cette étape pour croiser plusieurs sources d'information et étudier différents types de relation spatiale. Enfin, il est indispensable d'évaluer la précision du modèle statistique pour avoir une idée de sa validité.

Par exemple, la relation entre la répartition spatiale des moucheron vecteurs de la fièvre catarrhale ovine et l'environnement a été mise en évidence par une étude menée en Corse du Sud. Une campagne de piégeage de *Culicoides imicola* a été réalisée sur 75 sites localisés par GPS. Autour de chacun des sites, dans un rayon de 500 mètres, le paysage a été décrit : topographie, hydrographie, occupation des sols, structure de paysage. Les résultats indiquent que deux caractéristiques du paysage, un indice de végétation et le nombre de patchs de végétation différents (*patch richness density*), expliquent la présence ou l'absence des moucheron. Le modèle statistique a été

validé sur 28 sites dans le Var, où les données de présence ou d'absence des moucheron ont été comparées aux prévisions du modèle. Les résultats indiquent une bonne discrimination entre pièges positifs et négatifs.

Des analyses similaires ont mis en évidence, pour d'autres types d'insectes vecteurs de maladies comme les glossines ou différentes espèces de moustiques (*Culex*, *Anopheles*), une forte relation entre la présence ou l'abondance de ces insectes et le paysage caractérisé par télédétection, d'où la possibilité de dresser des cartes des zones potentiellement favorables à ces vecteurs. De telles études permettent de mieux connaître la bioécologie des vecteurs, en identifiant les conditions environnementales qui leur sont favorables. A condition que la relation entre vecteur et environnement soit significative, il est possible, avec les données de télédétection, d'extrapoler sur de larges zones les résultats de piégeages entomologiques ponctuels. Les cartes de répartition des vecteurs obtenues permettent alors de mieux cibler la surveillance entomologique ou la lutte antivectorielle. Par exemple, les paysages les plus dangereux identifiés dans le cas de la trypanosomose animale dans le bassin du Mouhoun au Burkina Faso ne représentent que 21 % des 700 kilomètres de rivière. Enfin, la caractérisation de l'habitat des vecteurs constitue une première étape pour la modélisation du risque de la maladie, qui combine la présence et les caractéristiques des vecteurs et celles des hôtes.

Contact > Annelise Tran, unité Animal et gestion intégrée des risques, annelise.tran@cirad.fr

Bibliographie

- Guerrini L., Bouyer J., 2007. Mapping African animal trypanosomosis risk: the landscape approach. *Veterinaria Italiana*, 43 : 643-654.
- Guis H. et al., 2007. Use of high spatial resolution satellite imagery to characterize landscapes at risk for bluetongue. *Veterinary Research*, 38 : 669-683.
- Soti V. et al., 2007. Landscape characterization of Rift Valley Fever risk areas using very high spatial resolution imagery: case study in the Ferlo area, Senegal. *In* : GISVet conference, 20-24 août 2007, Copenhagen, Danemark.
- Tran A. et al., 2007. The use of remote sensing for the ecological description of multi-host disease systems: a case study on West Nile virus in southern France. *Veterinaria Italiana*, 43 : 687-697.

Partenaires

Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (Cirdes, Burkina Faso), Delta Danube Institute (DDI, Roumanie), Entente interdépartementale pour la démoustication du littoral méditerranéen (EID-Méditerranée, France), Institut de recherche pour le développement (IRD, France), Institut Pasteur (France, Sénégal), Institut sénégalais de recherches agronomiques (Isra, Sénégal), Université de Franche-Comté (France), Université Louis Pasteur (France), Université de Louvain-la-Neuve (Belgique), Université de Liverpool (Royaume-Uni)



Comprendre et prévenir l'émergence de la grippe aviaire dans les pays du Sud



Différentes techniques sont utilisées pour capturer les oiseaux sauvages : capture de sarcelles d'été par filet japonais dans le delta intérieur du fleuve Niger, au Mali.

© P. Poilecot/Cirad

La grippe aviaire est une maladie virale cosmopolite très contagieuse. Depuis 1997, un virus hautement pathogène de type H5N1 s'est installé en Asie du Sud-Est, il a gagné l'Europe en 2005 et l'Afrique en 2006. Ses modes de diffusion, sa survie dans l'environnement, son cycle épidémiologique posent encore de nombreuses questions. Pour y répondre, le Cirad a mis en place, dès le début de la crise, toute une série de recherches qui visent à mieux connaître la maladie et son virus, mais aussi à anticiper sa progression.

●●●●●● **La grippe aviaire**, ou plus exactement l'influenza aviaire, est une maladie virale cosmopolite très contagieuse, susceptible d'entraîner une forte mortalité chez les oiseaux. Depuis 1997, un virus hautement pathogène (IAHP) de type H5N1 s'est installé en Asie du Sud-Est, il a gagné l'Europe en 2005 et l'Afrique en 2006. Depuis le début de la crise, le Cirad coordonne des projets de recherche sur le virus et la maladie et participe à des missions d'analyse de risque et de surveillance de l'avifaune sauvage et domestique. Il est également amené à évaluer les systèmes de surveillance et les méthodes de contrôle, deux instruments cruciaux dans la lutte contre le virus.

Ecologie du virus et surveillance de la faune sauvage

Les oiseaux d'eau migrateurs, en particulier les canards et les limicoles, sont les réservoirs naturels des virus de l'influenza aviaire et pourraient être, à ce titre, les vecteurs de la souche H5N1. Cependant, leur véritable rôle dans la propagation du virus est toujours controversé. En 2005, la FAO a mis en place, en partenariat avec le Cirad, cinq projets régionaux de surveillance dans le cadre de programmes techniques de coopération, en Europe de l'Est, au Moyen-Orient et en Afrique. Plus de 16 000 échantillons, prélevés sur 11 000 oiseaux sauvages dans 19 pays de ces régions entre 2006 et 2007, ont été ana-

lysés sur la plate-forme de diagnostic moléculaire à haut débit du laboratoire confiné du Cirad. La détection des virus par les méthodes de PCR (*polymerase chain reaction*) est suivie d'une analyse génétique, qui permet de suivre leur diffusion et leur évolution. Au total, 2 % des oiseaux testés se sont révélés positifs pour le virus de l'influenza aviaire, avec une prévalence allant jusqu'à 14 % chez certaines espèces, mais aucun virus H5N1 n'a été détecté. Quatorze souches du virus faiblement pathogène ont été isolées chez des espèces d'oiseaux migrateurs européens, mais aussi chez des espèces tropicales, confinées au continent africain. Il existe donc, dans les écosystèmes tropicaux et subtropicaux, des conditions propices à la transmission des virus de l'influenza aviaire, qui peuvent jouer un rôle dans l'écologie de ces virus dans le système afro-eurasien.

Analyser les risques et évaluer les mesures de contrôle

Au-delà de ces analyses, il est possible d'estimer les risques d'introduction et de dissémination du virus afin de déterminer les interventions nécessaires : introduction par les oiseaux sauvages, importation, dissémination par des oiseaux infectés, survie du virus dans l'environnement. Grâce aux outils d'analyse développés par le Cirad, on a pu démontrer, par exemple, qu'en Ethiopie le risque d'introduction du virus par le commerce

Partenaires

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa, France), Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (Cirdes, Burkina Faso), Centre national d'élevage et de recherches vétérinaires (CNERV, Mauritanie), Centre national de la recherche appliquée au développement rural (Fofifa, Madagascar), Ecole inter-Etats des sciences et médecine vétérinaires (EISMV, Sénégal), Hanoi Agricultural University (HAU, Vietnam)...

... Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Institute of Policy and Strategy for Agriculture and Rural Development (Ipsard, Vietnam), Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie (IZS, Italie), Laboratoire central vétérinaire (Mali), National Animal Health Diagnostic and Investigation Center (NAHDIC, Ethiopie), National Institute for Animal Husbandry (NIAH, Vietnam), National Institute for Veterinary Research (NIVR, Vietnam), Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS, France), Onderstepoort Veterinary Institute (Ovi, Afrique du Sud), Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, Italie), Organisation mondiale de la santé animale (OIE, France), Royal Veterinary College (RVC, Royaume-Uni), Services vétérinaires (Zimbabwe, Ethiopie), Wetlands International (Pays-Bas).



Les virus de l'influenza aviaire se concentrent au niveau de la trachée et du cloaque des oiseaux, où des prélèvements sont effectués pour mesurer la circulation virale : prélèvement d'un écouvillon cloacal chez un oiseau sauvage, au Mali.

© A. Caron/Cirad

transfrontalier local et les mouvements d'oiseaux migrants était faible, voire négligeable. Dans les conditions d'importation qui s'appliquaient en 2006 pour les poussins de 1 jour, le risque d'introduction du virus était faible : le pays avait un risque d'importer l'infection tous les 3,8 ans, avec une probabilité annuelle d'introduire au moins un poussin infecté de 23 %.

Enfin, dernier volet des activités du Cirad, l'évaluation des méthodes de contrôle permet d'ajuster les moyens aux risques réels. Au Vietnam, où plus de

50 millions de volailles ont été abattues depuis le début de l'épizootie et 93 cas humains rapportés, le gouvernement a mis en place, en 2005, une campagne de vaccination de masse, qui a eu pour conséquence une forte diminution du nombre de foyers mais n'a pas empêché le virus de continuer à circuler. Le Cirad y a réalisé une évaluation des systèmes de surveillance et des mesures de contrôle, ainsi qu'une analyse socio-économique de leur impact. Il a ainsi instauré, avec la FAO, un renforcement de la surveillance dans les fermes commerciales et villageoises afin d'améliorer la détection précoce et la déclaration des foyers. Le nombre de notifications a augmenté de manière significative en 2007 dans les provinces où ce système a été installé. L'étude socio-économique menée dans les petits élevages a mis en évidence un lien direct entre les bénéfices de la vaccination et l'attitude des éleveurs en cas d'épizootie. Mais elle montre que ces derniers privilégient parfois la vente à bas prix des volailles mortes ou abattues pour limiter leurs pertes financières : ce comportement a un impact majeur sur l'efficacité des campagnes de contrôle et joue un rôle important dans le maintien de la maladie. D'autres facteurs

Former, communiquer

Depuis 2004, le Cirad conçoit des supports pour la formation assistée par ordinateur en épidémiologie et organise des sessions de formation au diagnostic virologique et moléculaire, à l'assurance qualité des laboratoires du Sud, à la capture des oiseaux sauvages et au prélèvement. Il a organisé, en 2007, dans le cadre de projets régionaux de l'OIE, des ateliers sur l'analyse de risque et la surveillance de la grippe et d'autres maladies transfrontalières. Cette formation se fonde sur une démarche pluridisciplinaire et comprend des applications pratiques, qui utilisent les outils de formation assistée par ordinateur du Cirad, comme Ranema* et son module spécifique à la grippe aviaire, Ranema-Flu, développé avec la FAO.

* Ranema : Remise à niveau en épidémiologie des maladies animales.

ont aussi un effet direct sur l'efficacité des campagnes à l'échelle nationale, comme les différentes modalités d'application de la politique nationale par les provinces. Un modèle d'évaluation de stratégies de vaccination est développé afin de mesurer les retombées financières et l'efficacité potentielle de stratégies de contrôle plus ciblées. Des travaux similaires sont prévus au Mali, en Ethiopie et à Madagascar, dans le cadre du projet Gripavi*.

* Gripavi : Ecologie et épidémiologie de la grippe aviaire dans les pays du Sud, projet du ministère français des Affaires étrangères et européennes.

Les recherches en direct

Une plate-forme Internet bilingue, FluTrop (<http://avian-influenza.cirad.fr/fr/>), a été développée par le Cirad en partenariat avec le ministère des Affaires étrangères et la FAO. Elle présente les activités et les recherches du Cirad et de ses partenaires du Sud sur la grippe aviaire : avancement des travaux, projets de recherche, missions de surveillance en cours et à venir. A court terme, des bases de données sur la production avicole dans le monde, les échanges commerciaux, les souches virales... y seront développées.

Contact > Marie-Isabelle Peyre, unité Animal et gestion intégrée des risques, marisa.peyre@cirad.fr

Bibliographie

Desvaux S. *et al.*, 2007. Field surveillance model for HPAI in Vietnam in a vaccination context. *In* : XIIIth international conference of the Association of Institutions for Tropical Veterinary Medicine, 20-22 août 2007, Montpellier, France.

Gaidet N. *et al.*, 2007. Avian influenza viruses in water birds, Africa. *Emerging Infectious Diseases*, 13 : 626-629.

Goutard F. *et al.*, 2007. Conceptual framework for avian influenza risk assessment in Africa: the case of Ethiopia. *Avian Diseases*, 51 : 504-506.

Phan Dang T. *et al.*, 2007. Cost-benefit analysis of mass vaccination campaign against H5N1 in small scale production systems in Vietnam. *In* : XIIIth international conference of the Association of Institutions for Tropical Veterinary Medicine, 20-22 août 2007, Montpellier, France.



Des fruits conservés sans fongicide



© J.-C. Maillard/Cirad

En général, pour conserver les fruits et les légumes tropicaux pendant le transport et le stockage, les exportateurs font usage de traitements chimiques à action antifongique, qui empêchent le développement des champignons d'altération. Mais certains complexes moléculaires naturels, comme le système enzymatique lactoperoxydase LPS, naturellement présent dans le lait, pourraient avoir la même action.

Les chercheurs du Cirad ont testé l'efficacité antifongique de ce système LPS en utilisant l'enzyme libre — en contact direct avec le fruit à traiter — ou fixé — c'est-à-dire en employant uniquement les ions spécifiques générés par le système enzymatique actif. Cette efficacité diffère selon que l'enzyme est libre ou non et selon la stabilité des ions produits, qui varie elle-même en fonction des conditions du milieu. Afin d'améliorer les performances du système LPS, de stabiliser les ions produits et d'améliorer la reproductibilité des effets, les chercheurs expérimentent aussi d'autres molécules naturelles actives d'origine végétale, qui peuvent agir en synergie avec le système LPS.

Ces recherches, qui à terme permettront de limiter l'usage des fongicides de synthèse dans le traitement

de post récolte des fruits et légumes, viennent conforter les filières de production fruitières dans les pays du Sud tout en préservant l'environnement et la santé des consommateurs et des producteurs.

Contact > Marie-Noëlle Ducamp, unité Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité (UMR Qualisud), marie-noelle.ducamp-collin@cirad.fr

Le Nguyen D.D., Ducamp M.N., Dornier M., Montet D., Loiseau G., 2006. Effect of the lactoperoxydase system against 3 major causal agents of diseases in mangoes. *Journal of Food Protection*, 68 : 1497-1500.

Le Nguyen D.D., Ducamp-Collin M.N., Dornier M., Montet D., Reynes M., Loiseau G., 2006. Evaluation of lactoperoxydase system treatment to reduce anthracnose, stem-end rot and bacterial black spot development during storage of mangoes. *Journal of Food Protection*, 68 : 1671-1675.

Sagoua W., Ducamp-Collin M.N., Loiseau G., De Lapeyre de Bellaire L., 2007. Effect of the lactoperoxydase system on bananas *Colletotrichum*. *Journal of Food Protection (soumis)*.

Partenaires

Société Bioserae,
Tshwane University
of Technology (Afrique
du Sud), United States
Department of Agriculture
(USDA, Etats-Unis).



Une albumine entomotoxique du pois dans des riz transgéniques

Le charançon du riz est le principal ravageur des stocks de grains dans les pays du Sud. Son éradication repose principalement sur des traitements chimiques, qui sont désormais proscrits ou pour lesquels l'insecte a déjà développé des résistances. En l'absence de traitements biologiques efficaces ou d'une résistance naturelle connue chez le riz, le Cirad explore les possibilités offertes par une entomotoxine du pois, dont l'expression vient d'être obtenue dans des riz transgéniques.

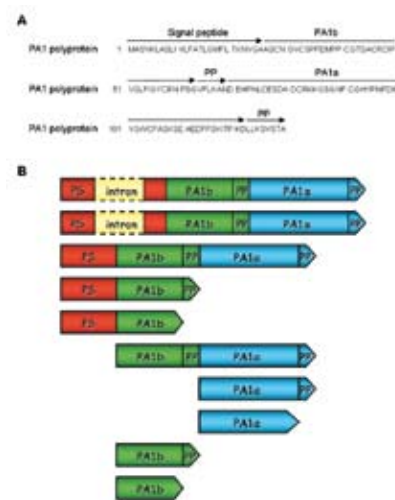
●●●●●● Le charançon du riz, *Sitophilus oryzae*, est un ravageur des stocks de grains dans les pays du Sud. Le contrôle des populations de ce coléoptère repose principalement sur des traitements chimiques, qui sont proscrits par le protocole de Montréal ou pour lesquels l'insecte a déjà développé des résistances. Les traitements biologiques disponibles s'avèrent peu rémanents et leur efficacité est limitée car ils n'atteignent pas les larves à l'intérieur des grains. Enfin, l'absence de résistance naturelle connue chez le riz rend l'amélioration variétale inopérante.

Une entomotoxine active contre les charançons

Une nouvelle entomotoxine, PA1b (*pea albumin 1 subunit b*), active contre des insectes de différents ordres, notamment les charançons des céréales et la teigne de la farine, a été identifiée dans la graine de pois. Outre sa forte toxicité pour ces insectes, cette protéine de la famille des albumines contient 16 % de cystéines et représente la principale réserve en acides aminés soufrés des graines de pois. Elle est présente en quantité importante dans les petits pois consommés et, du fait de sa stabilité thermique, se retrouve intacte après cuisson, même dans les conserves.

PA1b est synthétisée à partir d'une polyprotéine PA1, composée d'un peptide signal, des protéines PA1b (4 kDa) et PA1a (6 kDa) et de leurs propeptides respectifs, dont la maturation complexe conduit aussi à la synthèse d'un autre peptide, PA1a. La conservation de la structure et de l'activité biologique de PA1b chez les fabacées fait de ses isoformes une nouvelle famille d'entomotoxines végétales.

Pour comprendre les mécanismes de synthèse d'une toxine PA1b active, le Cirad et ses partenaires ont entrepris l'étude de la structure et de la fonction de la polyprotéine codée par le gène *pa1* du pois dans une large population de riz transgéniques, où dix constructions génétiques ont été introduites. Les transformants ont été caractérisés au niveau moléculaire pour décrire l'intégration et la transcription des séquences transférées. L'accumulation des peptides PA1b



A) Chez le pois, la synthèse de la polyprotéine PA1 conduit à la formation des protéines PA1b (37 aa) et PA1a (53 aa) après élimination par clivage protéolytique du peptide signal (PS) et des deux propeptides (PP).

B) Schéma des différentes constructions génétiques introduites et étudiées chez le riz.

Partenaires

Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Institut national des sciences appliquées (Insa, France), International Rice Research Institute (Irri, Indonésie), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos, Brésil).

Brevet déposé
le 29 octobre 2007
sous le numéro
PCT/FR2007/001785 :
« Utilisation
d'une albumine PA1a
de légumineuse
comme insecticide »

et PA1a dans les grains est décelée par réaction immunologique in situ, puis par spectroscopie infrarouge, et des lignées élites, qui présentent une forte accumulation du peptide PA1b dans la couche à aleurone du grain, ont été sélectionnées sur plusieurs générations de grains. Enfin, des études menées grâce à la spectrométrie de masse Maldi-Tof ont montré sans ambiguïté que la toxine PA1b accumulée dans le grain présentait des modifications post-traductionnelles comparables à celles observées chez le pois.

Une protection efficace et totale

Des essais réalisés avec des larves et des adultes de *Sitophilus* et des grains de deuxième et troisième génération ont démontré que l'accumulation stable de l'entomotoxine PA1b protège le grain de riz avec une efficacité comparable à celle rencontrée chez le pois. De façon inattendue, tous les grains, y compris ceux n'exprimant que le peptide PA1a, sont toxiques pour le charançon : PA1a, qui diffère de PA1b et dont la toxicité n'avait pas été démontrée jusqu'ici, pourrait agir en synergie avec PA1b et constituer, isolé, une nouvelle source de peptides entomotoxiques. Cette découverte a conduit au dépôt conjoint d'un brevet par le Cirad et l'Inra en 2007.

L'analyse fonctionnelle du gène *pa1* chez le riz permet de mieux comprendre le rôle de chaque domaine de la polyprotéine PA1 en termes d'expression, de régulation et d'activité entomotoxique. Les travaux démontrent également qu'il est

possible de protéger totalement les stocks de grains de riz contre *Sitophilus* grâce au gène *pa1*. Dans le cadre des projets Génoplante et Emergence, financés par l'Agence nationale de la recherche, des essais vont maintenant porter sur d'autres charançons et teignes des céréales, mais aussi sur d'autres organes de la plante, afin de déterminer si les peptides PA1 y sont accumulés et s'ils peuvent y assurer un rôle protecteur contre les insectes qui les attaquent au champ. Cette classe de toxines pourrait devenir une source majeure de protection contre les ravageurs.

Contact > Emmanuel Guiderdoni,
unité Développement et amélioration des plantes
(UMR Dap),
emmanuel.guiderdoni@cirad.fr

Bibliographie

Delobel B., Grenier A.M., Gueguen J., Ferrasson E., Mbailao M., 1998. Utilisation d'un polypeptide dérivé d'une albumine PA1b de légumineuse comme insecticide. Brevet d'invention n° 98-05877, déposé en France le 11 mai 1998, Inra et Insa, 31 p.

Petit J., 2006. Etude structure/fonction d'une albumine entomotoxique de type A1b du pois chez le riz : application à la protection contre le ravageur des stocks *Sitophilus oryzae*. Thèse de doctorat, université Montpellier II, 182 p.

Petit J., Duport G., Gressent F., Rahbé Y., Guiderdoni E., Breitler J.C., 2007. Utilisation d'une albumine PA1a de légumineuse comme insecticide. Brevet d'invention n° PCT/FR2007/001785, déposé en France le 29 octobre 2007, Inra et Cirad, 42 p.

Riz transgénique en serre.
© E. Guiderdoni





La cassiicoline, une toxine produite par un champignon pathogène de l'hévéa

Corynespora cassiicola, un champignon de la famille des ascomycètes, provoque chez l'hévéa une maladie foliaire préoccupante. Apparue au début des années 1960 en Inde et en Malaisie, cette maladie s'est progressivement étendue à toute l'Asie et récemment à l'Afrique, en provoquant des pertes de rendement importantes. L'analyse moléculaire de la toxine responsable du pouvoir pathogène du champignon montre que l'on a affaire à un mécanisme de virulence totalement nouveau et ouvre des perspectives pour le diagnostic et la lutte.

●●●●● *Corynespora cassiicola* est un champignon de la famille des ascomycètes qui sévit principalement en zone tropicale, où il affecte une très large gamme d'espèces végétales, parmi lesquelles des plantes d'importance économique telles que l'hévéa, le soja, le coton, la tomate, le concombre... Il reste néanmoins sélectif dans la mesure où chaque souche présente une gamme d'hôtes qui lui est propre. Chez ses hôtes sensibles, le champignon provoque des lésions nécrotiques sur la plupart des organes, qui affectent la croissance et les rendements.

Chez l'hévéa, *C. cassiicola* est responsable d'une maladie foliaire appelée CLFD (*Corynespora leaf fall disease*), qui compte parmi les pathologies les plus graves de cette culture. Apparue pour la première fois au début des années 1960 en Inde et en Malaisie, cette maladie a progressivement gagné tous les pays producteurs asiatiques, qui

assurent 94 % de la production mondiale de caoutchouc naturel, et plus récemment l'Afrique. La maladie se manifeste par des épidémies sporadiques sévères et l'arrachage des variétés les plus sensibles est parfois nécessaire. Compte tenu du coût des traitements chimiques et de leur impact sur l'environnement, il est indispensable d'explorer d'autres stratégies de lutte, en particulier la création de variétés tolérantes, et donc de comprendre les mécanismes d'action du champignon.

La cassiicoline : une molécule toxique inédite

Les travaux sur la cassiicoline, toxine responsable du pouvoir pathogène de *Corynespora cassiicola*, ont été entrepris, dans le cadre d'un partenariat du Cirad avec l'université Montpellier II, de 1994 à 2000, puis repris par le Cirad en 2002. La mise au point, en collaboration avec l'Inra, d'un procédé de purification optimisé a finalement abouti à la caractérisation moléculaire complète de la toxine. La cassiicoline est une petite protéine de 27 acides aminés seulement, repliée selon une structure inédite stabilisée par trois ponts disulfures, avec un groupement sucré sur le deuxième acide aminé. Elle est dérivée d'une protéine de plus grande taille, la procassiicoline, dont le gène a été isolé. Aucune homologie de séquence avec d'autres protéines ou gènes n'a pu être mise en

Symptômes foliaires de la maladie due au champignon *Corynespora cassiicola* sur un jeune plant d'hévéa.
© L. Vaysse/Cirad



Symptômes de *Corynespora cassiicola* sur une feuille d'hévéa. © L. Vaysse/Cirad



Partenaires

Centre d'études atomiques (CEA, France), Centre de biochimie structurale (CBS, France), Centre national de la recherche scientifique (CNRS, France), Institut de génétique fonctionnelle (IGF, France), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Malaysian Rubber Board (MRB, Malaisie), Université d'Etat du Maringà (Brésil).

évidence. Sa structure tridimensionnelle présente cependant des ressemblances avec d'autres molécules, mais sans relation fonctionnelle établie.

Ce résultat est à la fois décevant et excitant. Décevant, parce que cette structure nouvelle ne permet pas d'expliquer immédiatement le mécanisme d'action de la toxine. Excitant, parce que la cassiicoline constitue un modèle nouveau et original dans le domaine des interactions plante-pathogène, et plus particulièrement dans le domaine des toxines « hôte-sélectives » (*host-selective toxins* ou HST). En effet, la grande majorité des toxines hôte-sélectives décrites à ce jour ne sont pas des protéines mais des molécules de très petite taille générées selon un processus d'assemblage complexe. Seules deux d'entre elles, de nature protéique et produites par synthèse ribosomale classique, ont été décrites auparavant (il s'agit de toxines produites par *Pyrenophora triticii-repentis* et *Stagonospora nodurum*, pathogènes du blé). Mais là encore, elles ne présentent aucune homologie avec la cassiicoline. On a donc affaire à un mécanisme de virulence nouveau.

Des perspectives prometteuses pour le diagnostic et la lutte

Ces travaux permettent d'ores et déjà d'envisager plusieurs applications et ouvrent de nouvelles voies de recherche. Pour ce qui est des applications, un test ADN basé sur la détection du gène de la cassiicoline à partir d'échantillons de feuilles pourrait être développé pour diagnostiquer la présence en plantation de souches de *C. cassiicola* potentiellement virulentes. Un test simple de sensibilité pourrait également être mis au point : en appliquant la toxine purifiée sur des feuilles détachées, il serait possible d'évaluer la sensibilité de telle ou telle variété d'hévéa à la maladie. En effet, la sensibilité à la cassiicoline purifiée reflète parfaitement la sensibilité à la souche de champignon dont elle est issue. Il convient néanmoins de rester vigilant car l'existence de races de *C. cassiicola* distinctes, impliquant éventuellement des toxines différentes, n'est pas exclue. L'analyse de la diversité des toxines au sein d'une large collection de souches permettra de vérifier cette hypothèse.

Dans le domaine de la recherche, il devient désormais envisageable d'accéder au facteur de sensibilité spécifique porté par la plante en utilisant la

cassiicoline pour piéger sa cible moléculaire. En effet, dans le cas des interactions plante-pathogène impliquant une toxine hôte-sélective, à un facteur de virulence porté par le champignon, dans ce cas la cassiicoline, correspond généralement un facteur de sensibilité spécifique porté par la plante. Cette étude aura pour objectif, à terme, de sélectionner des individus dépourvus du facteur de sensibilité. Par ailleurs, les travaux ont mis en évidence la présence sur la cassiicoline d'un groupement sucré. Quel rôle joue-t-il dans la toxicité ? On sait, en effet, que certains micro-organismes, utilisés efficacement en lutte biologique, sont capables d'inactiver des toxines fongiques par déglycosylation, c'est-à-dire en dégradant les résidus sucrés fixés aux protéines. La réponse à cette question devrait éclairer les recherches pour la mise au point de nouvelles stratégies de lutte.

Ces travaux, qui allient biochimie, biologie moléculaire et phytopathologie, démontrent l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire. Le fait de disposer maintenant de la toxine purifiée et du gène correspondant ouvre des perspectives intéressantes pour la mise au point d'outils de diagnostic et de sélection, et pour l'élaboration de nouvelles stratégies de lutte contre ce champignon.

Contact > Valérie Pujade-Renaud, unité Développement et amélioration des plantes (UMR Dap), valerie.pujade-renaud@cirad.fr

Bibliographie

Barthe P. *et al.*, 2007. Structural analysis of cassiicolin, a host-selective protein toxin from *Corynespora cassiicola*. *Journal of Molecular Biology*, 367 : 89-101.

Barthe P. *et al.*, 2007. Détermination structurale de la cassiicoline, la toxine glycosylée de *Corynespora cassiicola*. In : XX^e congrès GERM, Alénia, France.

De Lamotte F. *et al.*, 2007. Purification and characterization of cassiicolin, the toxin produced by *Corynespora cassiicola*, causal agent of the leaf fall disease of rubber tree. *Journal of Chromatography B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 849 : 357-362.

Pujade-Renaud V. *et al.*, 2007. Fungal phytotoxins: story-case of cassiicolin, a new proteinaceous host-selective toxin from *Corynespora cassiicola*. In : 40th Brazilian Phytopathological Society meeting, Maringá, Brésil.



Structure tridimensionnelle de la cassiicoline, toxine responsable du pouvoir pathogène de *Corynespora cassiicola*. © Cirad



Les mouches des fruits, de redoutables ravageurs des manguiers en Afrique de l'Ouest

Le manguiers occupe une place de choix dans l'économie de l'Afrique de l'Ouest. En période de soudure, les mangues constituent un apport nutritionnel fondamental pour les populations rurales. Mais la mangue est aussi un produit d'exportation très prisé sur les marchés européens. Des atouts que pourraient compromettre les mouches des fruits, des ravageurs redoutables qui infligent de lourdes pertes aux vergers. Omniprésentes dans la zone de culture, ces mouches font actuellement l'objet de recherches, qui devraient déboucher sur des programmes de lutte conçus à l'échelle régionale.

●●●●● Dans les pays soudano-sahéliens d'Afrique de l'Ouest, les mangues sont cultivées pour le marché local, régional et aussi pour l'exportation vers l'Europe. Mais les producteurs y sont confrontés à des pullulations de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae), communes à tous les pays ouest-africains, qui provoquent des dégâts considérables dans les vergers. C'est pourquoi les programmes de lutte sont aujourd'hui conçus à l'échelle de l'ensemble de la région. Le Cirad, fort de l'expérience qu'il a acquise à la Réunion et de ses partenariats avec l'IITA, en Afrique

de l'Ouest, et le Coleacp, en Europe, mène des travaux dans tous les domaines de la lutte contre ces ravageurs.

Des pertes de récolte considérables

Dans le nord du Bénin (Borgou), en 2006 et 2007, les dégâts dus aux mouches ont été évalués dans une dizaine de vergers, sur les huit cultivars les plus cultivés, puisqu'ils représentent 95 % des surfaces : Gouverneur, Eldon, Dabshar, Kent, Smith, Keitt, Alphonse de Goa, Brooks. Les dégâts atteignent en moyenne 15 % des fruits au mois d'avril et jusqu'à 80 % à la mi-juin, en fin de campagne. Le cultivar précoce Gouverneur est le moins touché tandis que le cultivar tardif Brooks subit les dégâts les plus lourds. Pour les cultivars destinés à l'exportation Kent et Keitt, on relève de 60 à 70 % de perte de rendement. Dans les autres pays d'Afrique de l'Ouest, la moyenne des dégâts dépasserait largement 50 % en fin de campagne.

Une nouvelle espèce de tephritide détectée en Afrique de l'Ouest

Six espèces de mouches des fruits se rencontrent en Afrique de l'Ouest. Parmi elles, *Bactrocera invadens*, une espèce d'origine asiatique découverte en 2004, s'est répandue très rapidement

Evolution des dégâts de mouches des fruits sur une mangue Smith.
© J.F. Vayssières/Cirad





Femelles de *Bactrocera invadens* sur une mangue. © J.F. Vayssières/Cirad

dans toute la région. En quelques années, elle a considérablement aggravé les dégâts occasionnés par les espèces natives. Cette espèce invasive est un redoutable ravageur qui s'attaque à une trentaine d'espèces fruitières, dont la mangue, les agrumes et la goyave, et à plusieurs espèces sauvages, comme la pomme sauvage, le badamier et le karité. Des méthodes de prévention des attaques et de lutte au champ sont déjà opérationnelles au Bénin.

En Afrique de l'Ouest, l'arrivée de cette nouvelle espèce exotique et, en Europe, la destruction de nombreux containers de mangues pour cause d'infestation ont eu pour effet de sensibiliser les institutions internationales au problème. L'Union économique et monétaire ouest-africaine, le World Bank Institute et l'Union européenne devraient s'impliquer prochainement dans la filière et soutenir un programme régional de lutte. L'Union européenne a également lancé en 2007 une étude de la filière par le biais de plusieurs consultations. L'intervention conjointe de toutes ces institutions devrait permettre de lancer un

programme de recherche sur l'ensemble de la filière de la mangue en Afrique de l'Ouest.

Contact > Jean-François Vayssières,
unité Production fruitière intégrée,
jean-francois.vayssières@cirad.fr

Bibliographie

Ducamp-Colin M.N., Arnaud C., Kagy V., Didier C., 2007. Fruit flies: disinfestation, techniques used, possible application to mango. *Fruits*, 62 : 223-236.

Vayssières J.F., 2007. L'IITA dans la lutte contre les mouches des fruits du manguier. La lutte régionale contre les mouches des fruits et légumes en Afrique de l'Ouest, 1 : 3.

Vayssières J.F., Goergen G., Lokossou O., Dossa P., Akponon C., 2005. A new *Bactrocera* species detected in Benin among mango fruit flies (Diptera: Tephritidae) species. *Fruits*, 60 : 1-9.

Vayssières J.F., Sanogo F., Noussourou M., 2007. Inventory of the fruit fly species (Diptera: Tephritidae) linked to the mango tree in Mali and tests of integrated control. *Fruits*, 62 : 329-341.

Partenaires

Comité de liaison
des Etats Afrique
Caraïbes Pacifique
(Coleacp, France),
International Institute
of Tropical Agriculture
(IITA), Union économique
et monétaire
ouest-africaine (UEMOA),
Union européenne,
World Bank Institute.



Puceron du coton : enquête d'identité

Le puceron du coton, insecte polyphage et cosmopolite, est l'un des principaux ravageurs du cotonnier dans les savanes d'Afrique. Mais comment parvient-il à survivre dans un environnement plutôt hostile et malgré les traitements insecticides ? Une étude menée dans le nord du Cameroun prouve qu'il est capable d'exploiter, au gré des saisons, certaines plantes hôtes, et qu'il est résistant à de nombreux insecticides. Des résultats qui pourraient déboucher sur de nouvelles stratégies de lutte.

●●●●● Le puceron *Aphis gossypii* est un insecte ravageur largement répandu dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées. Ses formes ailées, son exceptionnelle fécondité et sa reproduction parthénogénétique lui confèrent une grande capacité de dispersion dans de multiples écosystèmes cultivés. Dans les savanes d'Afrique, ce puceron est l'un des principaux ravageurs du cotonnier : en prélevant la sève, dont il se nourrit, il altère directement la vigueur des jeunes cotonniers et, lorsque la culture arrive à maturité, il peut déprécier la qualité des fibres de coton en y déposant du miellat. Dans ces régions, où alternent une courte saison des pluies et une longue

saison sèche, les populations doivent survivre dans un habitat diversifié mais instable, où certaines cultures sont protégées par des traitements insecticides.

Des populations spécialisées selon les plantes hôtes

Cet environnement particulier a conduit le Cirad à entreprendre une étude sur la diversité génétique des populations de ce puceron dans le nord du Cameroun, région où la culture du cotonnier est très présente. Pendant deux ans, plus de 1 600 pucerons ont été collectés sur deux parcelles de cotonniers distantes de 250 kilomètres, à Garoua et à Maroua, et sur des plantes hôtes cultivées ou spontanées appartenant aux familles des malvacées, des cucurbitacées et des solanacées. Le génotype de chaque individu collecté a été analysé au laboratoire à l'aide de marqueurs microsatellites. Des tests toxicologiques de sensibilité aux insecticides associés à la détection d'allèles de résistance ont été effectués en parallèle.

Cette étude montre que les populations de pucerons diffèrent génétiquement selon les plantes hôtes qui les hébergent. Pendant la saison des pluies, plus de 90 % des pucerons collectés dans les parcelles de cotonniers sont caractérisés par un unique génotype multilocus appelé « *Burk1* ». Pendant la saison sèche, les pucerons correspondant au génotype *Burk1* sont hébergés par des plantes cultivées dans les périmètres irrigués, telles que le gombo (*Abelmoschus esculentus*)

Face inférieure d'une feuille
d'oseille de Guinée infestée
par *Aphis gossypii*.
© T. Brévault/Cirad



Partenaires

Institut de recherche agricole pour le développement (Irad, Cameroun), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Université de Nice-Sophia Antipolis (France). Cette étude a bénéficié de financements du Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale (Prasac) et de la Société de développement du coton au Cameroun (Sodecoton).

ou l'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa*), deux malvacées comme le cotonnier. Les plantes maraîchères de la famille des cucurbitacées et solanacées abritent en revanche des génotypes très différents. L'étude révèle, de plus, que les populations n'ont pas la même sensibilité aux produits insecticides. En effet, le génotype *Burk1* possède plusieurs allèles qui lui confèrent une résistance à de nombreux insecticides utilisés en culture cotonnière. Cet avantage expliquerait sa prépondérance sur les pucerons de génotype « Ivo », rencontrés aussi sur le cotonnier, mais beaucoup plus sensibles aux insecticides.

Un super-génotype inféodé au cotonnier

Ainsi, l'espèce *Aphis gossypii*, qui a la réputation d'être très polyphage parce qu'elle est présente sur plus de 300 espèces végétales dans le nord du Cameroun, est en réalité structurée en génotypes spécialisés sur différentes plantes hôtes. Le génotype *Burk1* est, par exemple, un super-génotype inféodé au cotonnier : il parvient à s'adapter à un environnement a priori hostile parce qu'il est capable d'exploiter, au gré des saisons, certaines plantes hôtes et qu'il est résistant à plusieurs familles d'insecticides.

Ces résultats apportent un nouvel éclairage sur la carte d'identité des pucerons du coton et devraient déboucher sur des stratégies de lutte différenciées selon les types génétiques rencontrés dans les cultures.

Contact > Thierry Brévault, unité Systèmes de culture annuels, thierry.brevault@cirad.fr

Bibliographie

Brévault T., Carletto J., Linderme D., Vanlerberghe-Masutti F., 2007. Genetic diversity of the cotton aphid, *Aphis gossypii*, in the unstable environment of a cotton growing area. *Agricultural and Forest Entomology (sous presse)*.

Brévault T., Carletto J., Vanlerberghe-Masutti F., 2007. Host specificity and insecticide resistance in the cotton aphid, *Aphis gossypii*. In : WCRC, 10-14 septembre 2007, Lubbock, Etats-Unis.

Brévault T., Tribot J., Carletto J., Vanlerberghe-Masutti F., 2007. Is insecticide resistance responsible for low genetic diversity of *Aphis gossypii* in cotton? In : Resistance 2007, 16-18 avril 2007, Rothamsted Research, Harpenden, Royaume-Uni.

Carletto J., Lombaert E., Chavigny P., Brévault T., Lapchin L., Vanlerberghe-Masutti F. Ecological specialization of the aphid *Aphis gossypii* Glover on cultivated host plants. *Molecular Ecology (soumis)*.

Collecte de pucerons dans une parcelle de cotonniers en fin de saison des pluies.

© T. Brévault/Cirad.





Cocotiers, forêts tropicales, productivité et flux de carbone

Les écosystèmes terrestres échangent en permanence de la matière et de l'énergie avec leur environnement. Comment se comportent à cet égard les plantations des zones tropicales ? En comparant les flux de carbone d'une plantation de cocotiers du Vanuatu à ceux de forêts tropicales humides, les chercheurs du Cirad ont abouti à des résultats surprenants : la productivité de la plantation de cocotiers est proche de celle d'une forêt naturelle tropicale humide. Un écosystème encore peu documenté qui mériterait d'être plus largement étudié.

●●●●● Les écosystèmes terrestres échangent en permanence de la matière (carbone, eau) et de l'énergie avec leur environnement. Ces flux sont influencés par le type de couvert et son microclimat et, en retour, ils influencent le climat global. La mesure et la modélisation de ces flux trouvent de multiples applications en agronomie, en écologie et en climatologie. Depuis plus de dix ans et grâce à ses 250 sites, le réseau mondial Fluxnet permet d'enregistrer et de modéliser les flux — absorption de la lumière, photosynthèse, évapotranspiration — d'une grande variété de couverts terrestres et de réaliser des extrapolations dans l'espace ou dans le temps, par exemple pour évaluer les effets des scénarios climatiques. Après standardisation, les résultats sont partagés au sein de bases de données. Ils débouchent sur des méta-analyses, qui confèrent à l'ensemble du réseau une dimension planétaire, indispensable pour affronter les enjeux environnementaux actuels.

Le Cirad contribue activement au réseau Fluxnet dans le domaine des plantations pérennes tropicales (cocotier, eucalyptus, hévéa, caféier, palmier à huile) et de certains écosystèmes naturels associés (savane). Durant trois ans, en particulier, le Cirad a mesuré les flux de carbone, d'eau et d'énergie entre une parcelle de 25 hectares de cocotiers et l'atmosphère, dans les conditions de croissance quasi optimales du Vanuatu — climat tropical humide toute l'année, sol fertile. Les mesures ont été effectuées de façon continue à raison de dix fois par seconde, puis intégrées au pas de temps de la demi-heure. Ensuite toutes les variations des flux ont pu être étudiées, qu'elles soient instanta-

nées, comme le passage d'un nuage, saisonnières, comme des périodes sèches ou pluvieuses, ou interannuelles.

Ces analyses de flux de carbone ont été comparées aux relevés effectués par des partenaires du Cirad dans les forêts tropicales humides. Les résultats sont surprenants : la productivité d'une plantation de cocotiers placée dans des conditions de croissance quasi optimales est proche de celle d'une forêt naturelle tropicale humide sempervirente. Ce concept de « productivité » regroupe trois grandes notions : la productivité primaire brute des plantes (photosynthèse du couvert), la productivité primaire nette (somme de la croissance annuelle visible et de la production de litière) et la productivité nette de l'écosystème (différence entre la rentrée de carbone dans l'écosystème par photosynthèse et sa perte par respiration), qui n'est autre que le bilan carbone de l'écosystème, terme clé de la séquestration du carbone.

Les tours à flux dans une plantation de cocotiers, au Vanuatu. © E. Malézieux/Cirad



Partenaires

Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (Cefe, France), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Région Languedoc-Roussillon (France), Université Henri Poincaré (France), Vanuatu Agricultural Research and Training Center (VARTC, Vanuatu).

La plantation de cocotiers fixe de grandes quantités de carbone — 39 tonnes par hectare et par an, une valeur proche de celle des forêts tropicales humides (35 tonnes). Elle se révèle aussi une excellente productrice de biomasse et de litière, de l'ordre de 16 tonnes de carbone par hectare et par an. Son bilan carbone est élevé : 7 tonnes de carbone fixé par hectare et par an déduction faite des récoltes de coprah, valeur supérieure mais comparable à la moyenne des forêts tropicales humides sempervirentes (4 tonnes).

Ces méta-analyses ont aussi précisé de quelle manière la productivité en carbone d'un écosystème, qu'il soit naturel ou artificiel, variait avec la surface foliaire des plantes en place, la durée de la période de croissance végétative, le climat et la fertilité du sol. Les forêts les plus productives sont les forêts tropicales humides sempervirentes, dont la situation est comparable à celle de la plantation de cocotiers étudiée.

Le secteur des plantations pérennes tropicales reste encore bien peu documenté, si l'on considère son importance économique et écologique : ces plantations offrent en effet des solutions de gestion multiples, depuis des modes industriels à hauts niveaux d'intrants jusqu'à des modes de gestion agroforestière ou d'agriculture biologique. C'est pourquoi, à

l'avenir, il sera essentiel de décrire et de modéliser ces systèmes nouveaux, en incluant leur durabilité et leur plasticité face aux changements climatiques, puis de confronter ces informations à deux critères fondamentaux, le développement humain et le maintien de la biodiversité.

Contacts > Olivier Roupsard, Christophe Jourdan, unité Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations, olivier.roupsard@cirad.fr

Bibliographie

Luyssaert S. *et al.*, 2007. The CO₂-balance of boreal, temperate and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology*, 13 : 2509-2537.

Roupsard O. *et al.*, 2006. Partitioning energy and evapotranspiration above and below a tropical palm canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139 : 252-268.

Roupsard O. *et al.*, 2008. Cross-validating Sun-shade and 3D models of light absorption by a tree-crop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148 : 549-564.

Roupsard O., Bonnefond J.M., Luyssaert S., 2007. Productivity of a tropical plantation of coconut tree (*Cocos nucifera* L.), compared with tropical evergreen humid forests. *Asiaflux Newsletter*, 23 : 4-9.

Durant trois ans, le Cirad a mesuré les flux de carbone, d'eau et d'énergie entre une parcelle de 25 hectares de cocotiers et l'atmosphère, au Vanuatu.

© O. Roupsard/Cirad





Oscar et Oswald, l'identification des mauvaises herbes assistée par ordinateur

Identifier sans équivoque une plante est souvent difficile pour le non-botaniste : les flores traditionnelles sont d'un abord ardu et leurs clés peu adaptées aux contraintes de l'agriculture. Afin de pallier ces inconvénients, le Cirad a développé des outils informatiques qui permettent d'identifier la plante de manière graphique en construisant un portrait-robot. Deux applications viennent d'être réalisées pour les adventices d'Asie.

Le projet Oscar a reçu, en septembre 2007, un prix décerné par la fondation Manthan, sous les auspices du World Summit Award dans la catégorie « India's best e-content for development ».

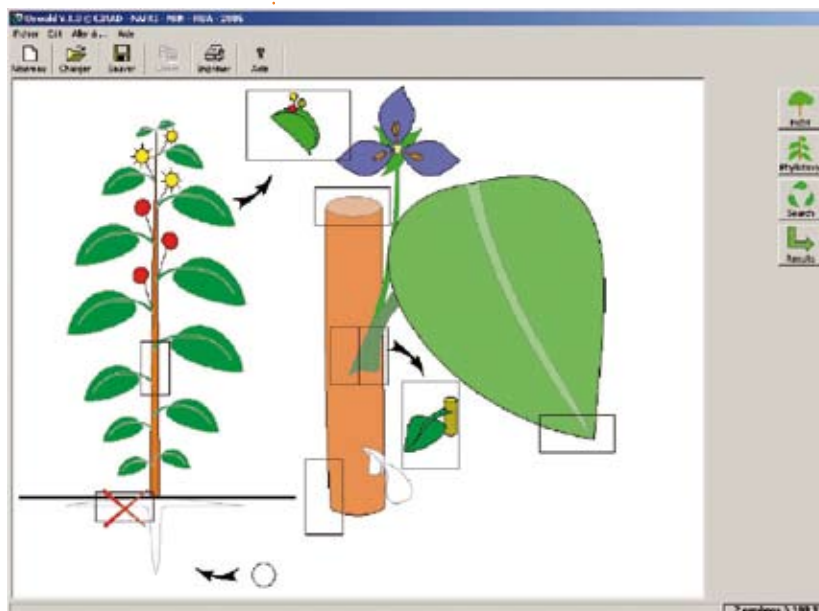
Le nombre de spécialistes de la flore a tendance à se réduire de manière drastique, pourtant les besoins n'ont jamais été aussi importants, tant dans le domaine de l'étude de la biodiversité que dans celui de l'agriculture, pour lequel il est nécessaire de bien connaître la flore contre laquelle on veut lutter. Or, les non-spécialistes se heurtent à de nombreuses difficultés lorsqu'ils veulent identifier les adventices à l'aide de flores classiques : une reconnaissance fondée en premier lieu sur les fleurs, alors que le désherbage doit être réalisé avant la floraison ; un système de clés dichotomiques qui ne tolère pas l'erreur et qui impose le choix et l'ordre des questions ; une terminologie hermétique.

Afin de pallier ces inconvénients, des outils informatiques ont été développés, qui permettent d'identifier la plante de manière graphique en construisant un portrait-robot. Ces outils offrent un certain nombre d'avantages. Ils utilisent uniquement des dessins, sans aucune terminologie technique, et laissent à l'utilisateur le choix des caractères à décrire. Ils permettent d'identifier des échantillons incomplets et tolèrent les erreurs d'observation. A chaque étape de l'identification, une probabilité de vraisemblance est calculée pour chacune des espèces retenues, qui sont triées par ordre décroissant de vraisemblance. A tout moment, il est possible d'accéder aux photographies, aux textes descriptifs et aux dessins des planches botaniques de ces espèces ; ces textes font d'ailleurs appel à des définitions illustrées pour les termes techniques. Enfin, ces logiciels indiquent le caractère le plus pertinent pour départager rapidement les espèces et mettent en évidence les caractères mal renseignés quand une espèce est identifiée avec une probabilité inférieure à 100 %.

Ces logiciels sont utilisables sans aucune compétence particulière en informatique ou en botanique. Les choix représentés à l'écran sont facilement repérables par des « boutons » sur lesquels il suffit de cliquer. Tous les termes techniques peuvent être remplacés par des dessins et toutes les informations présentées à l'écran peuvent être imprimées.

Le logiciel Idao (Identification assistée par ordinateur) a été conçu par le Cirad pour répondre

Une page du logiciel Oswald
© Cirad



Partenaires

Institut français de Pondichéry (IFP, Inde), National Agriculture and Forest Research Institute (Nafri, Laos), Rice-Wheat Consortium for Indo-Gangetic Plains (RWC, Asie du Sud), Université de Leiden (Pays-Bas), Université de Wageningen (Pays-Bas), Université royale d'agriculture (Cambodge). Oscar et Oswald ont bénéficié de financements de la Commission européenne (programme Asia IT&C).

à ce besoin. Il existe dans deux versions, l'une développée à l'aide de logiciels libres et l'autre au format SVG, mise en ligne sur Internet. Deux logiciels spécifiques sur les mauvaises herbes asiatiques ont été créés : Oscar (*Open Source Simple Computer for Agriculture in Rural Areas*) sur les mauvaises herbes des plaines indo-gangétiques et Oswald (*Open Source for Weed Assessment in Lowland Paddy Fields*) sur celles des rizières du Cambodge et du Laos.

Oscar est un logiciel d'aide à l'identification et au contrôle des mauvaises herbes des plaines du Pakistan, du Népal, de l'Inde et du Bangladesh. Utilisable sur un petit ordinateur de poche, un PC ou en ligne, Oscar est très intuitif et propose une fiche synthétique en anglais, en hindi, en bengali et en ourdou pour chacune des mauvaises herbes,

ainsi que les moyens de contrôle les plus efficaces. Oswald est un logiciel similaire, développé sur les adventices des rizières du Cambodge et du Laos. Il propose une fiche descriptive en khmer et en lao, mais aussi en anglais et en français. Il permet d'identifier 113 adventices majeures. Une extension est en préparation pour le Vietnam.

Contact > Pierre Gard, unité Botanique et bio-informatique de l'architecture des plantes (UMR Amap), pierre.gard@cirad.fr

Sites

<http://www.oscarasia.org>

<http://www.oswaldasia.org>



Le Liama fête son dixième anniversaire

Partenaires

Beijing Forestry University (Chine), Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM, France), Centre national de la recherche scientifique (CNRS, France), Chinese Academy of Forestry (Chine), Chinese Academy of Sciences (Chine), Chinese Academy of Sciences Institute of Automation (Casia, Chine), Chinese Agricultural University (Chine), Ecole centrale de Paris (ECP, France), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria, France).

Philippe de Reffye a reçu le prix de l'amitié 2006 du ministère des Affaires étrangères chinois dans le cadre de ses activités au Liama.

En janvier 2007, le Liama, laboratoire de recherche franco-chinois d'informatique, d'automatique et de mathématiques appliquées créé par l'Académie des sciences de Chine et l'Inria, a fêté son dixième anniversaire. Situé à Pékin, au sein de l'Institut d'automatique de l'Académie des sciences de Chine (Casia), ce laboratoire est fondé sur un partenariat entre cet Institut, l'Académie et un consortium français associant l'Inria, le CNRS, le Cirad, l'Inra et le BRGM. Le Cirad a joué un rôle actif dans la constitution de ce laboratoire en y affectant dès 1998 des chercheurs : cinq scientifiques du Cirad y ont travaillé entre 1998 et 2007, et deux d'entre eux ont assuré la direction française du laboratoire. Les recherches qu'ils y ont menées portaient sur la modélisation de la croissance des végétaux (projet GreenLab) et ses applications, notamment pour la modélisation et la prévision de l'architecture et de la production des végétaux, la visualisation de paysages fonctionnels et l'éco-ingénierie de la stabilité des pentes. Grâce à ce partenariat, le Cirad a construit des collaborations fructueuses avec de nombreux organismes de recherche et d'enseignement agricoles chinois. Plus d'une trentaine de thèses d'étudiants chinois ont été encadrées par le Cirad depuis 2000. Ces collaborations ont aussi donné lieu à l'organisation de deux conférences internationales sur la modélisation de la croissance des plantes et d'un colloque en éco-ingénierie, prévu pour 2008. De

nombreux articles dans des revues internationales, des ouvrages et un numéro spécial de la revue *Annals of Botany* sur la modélisation de la croissance des plantes ont été publiés dans le cadre de ce laboratoire.

Contacts > Thierry Fourcaud, Marc Jaeger, Philippe de Reffye, unité Botanique et bio-informatique de l'architecture des plantes (UMR Amap), thierry.fourcaud@cirad.fr

Fourcaud T., Zhang X.P., 2008. Plant growth modeling and applications: proceedings of PMA06. Los Alamitos, IEEE Computer Society, 336 p.

Fourcaud T., Ji J.N., Zhang Z.Q., Stokes A., 2008. Understanding the impact of root morphology on overturning mechanisms: a modelling approach. *Annals of Botany*, 101 : 1053-1063.

Le Chevalier V., Jaeger M., Mei X., Cournède P.H., 2007. Simulation and visualisation of functional landscape: effects of the water resource competition between plants. *Journal of Computer Science and Technology*, 22 : 835-845.

Ma Y., Li B., Zhan Z., Guo Y., Luquet D., de Reffye P., Dingkuhn M., 2007. Parameter stability of the functional-structural plant model GreenLab as affected by variation within populations, among seasons and among growth stages. *Annals of Botany*, 99 : 61-73.

<http://liama.ia.ac.cn>

Un paysage virtuel.
© M. Jaeger/Cirad





Borates et huiles végétales, des produits prometteurs pour protéger le bois

Les borates sont des matières actives de préservation du bois, dont l'impact sur l'environnement est faible. Mais, utilisés seuls sur des bois exposés à l'extérieur, ils sont rapidement lessivés et leur efficacité s'en trouve réduite. C'est pour améliorer la fixation du bore dans le bois que le Cirad et ses partenaires ont cherché à les combiner avec des huiles végétales. Ces études pourraient aboutir à des produits efficaces contre les termites et les champignons et peu nocifs pour l'environnement.

Partenaires

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe, France), Kyoto University (Japon), Oléobois (France), Région Languedoc-Roussillon (France), Université de Nancy (France), Université Montpellier II (France).

Mesure de la résistance d'un bois traité aux attaques de champignons de pourriture du bois.
© F. Lyon.

Les borates protègent efficacement les bois

et leur impact sur l'environnement est faible. Mais utilisés sur des bois exposés à l'extérieur, ils présentent l'inconvénient d'être rapidement lessivés. C'est pourquoi le Cirad a étudié différentes combinaisons de ces borates avec des huiles végétales, qui améliorent la fixation du bore dans le bois : double traitement borates et huile végétale, synthèse d'un sel d'ammonium borate-oléate, émulsions de borates et d'huile, greffage d'un corps gras sur le bois imprégné de borate. Ces combinaisons ont été testées pour leur capacité à retenir le bore, mais aussi pour leur effet protecteur contre les termites et les champignons de pourriture (basidiomycètes). A terme, ces études pourraient aboutir à des produits de préservation du bois efficaces et peu nocifs pour l'environnement, conformes à la directive européenne sur les produits biocides (98/8/CE).

Améliorer la fixation du bore

Dans le cas des doubles traitements, c'est la forte aptitude des huiles végétales au séchage qui améliore la rétention du bore : 30 à 40 % du bore introduit est retenu. L'huile de lin est plus performante que les huiles de colza et de soja. Le sel d'ammonium synthétisé à

partir d'acide borique et d'acide oléique retient 50 % du bore introduit. Les combinaisons par émulsion ont des propriétés exceptionnelles de rétention du bore, qui peut atteindre 90 %. Ces émulsions ont toutefois une forte viscosité, qui ne leur permet pas d'exprimer pleinement leur potentiel de rétention : elles ne pénètrent pas assez profondément dans le bois et sont lessivées en surface. Enfin, le greffage d'un corps gras sur le bois, quelles que soient les conditions de réaction imposées, ne donne pas de résultats intéressants.

Une protection efficace contre les pourritures et les termites

A la suite des tests de fixation du bore, l'efficacité de la protection contre les champignons de pourriture et les termites a été confirmée pour les doubles traitements bore-huile et pour le sel d'ammonium borate. Cette efficacité est notamment liée à la quantité de bore qui reste dans le bois après l'épreuve de délavage.

Dans le cas des doubles traitements, l'efficacité du traitement dépend principalement de l'insaturation des huiles, c'est-à-dire du nombre de doubles liaisons carbone-carbone dans les acides gras. L'huile se comporte comme une barrière temporairement suffisante contre les pourritures et le bore est indispensable contre les termites. Ces traitements restent cependant inefficaces contre les champignons de moisissure (*Aspergillus niger*), qui déprécient esthétiquement les bois traités à l'huile. Quant au sel d'ammonium borate-oléate,



Florent Lyon a reçu, dans le cadre de sa thèse *Amélioration de la durée de vie d'essences peu durables à l'aide d'un traitement combiné à base de borates et d'huiles*, le Ron Cockroft Award décerné par l'International Research Group on Wood Protection en 2007, le Gareth Williams Scholarship Award (financé par Arch Chemical inc.) décerné par un panel de scientifiques et d'industriels membres de l'International Research Group on Wood Protection en 2007, et le Prix Doctiss 2007 de la présentation orale, dans le cadre de l'école doctorale I2S de l'université Montpellier II.

il s'est révélé non écotoxique à l'égard des daphnies (petits crustacés sensibles utilisés dans les tests de toxicité) : cela confirme le caractère très prometteur de ce produit de traitement du bois.

De nombreuses questions restent toutefois en suspens. L'ajout de bore aux traitements à l'huile ne diminue pas la flammabilité des bois. Le comportement au feu des bois huilés reste donc critique, ce qui freine le développement de ces traitements. L'adjonction d'ignifugeants puissants est donc envisagée. Les travaux se poursuivent sur les doubles traitements borate-huile et sur les sels borate-oléate, d'une part pour augmenter leurs performances contre les agents de détérioration, d'autre part pour améliorer la résistance au feu des bois traités.

Contact > Marie-France Thévenon, unité Production et valorisation des bois tropicaux, marie-france.thevenon@cirad.fr

Bibliographie

Lyon F., Pizzi A., Imamura Y., Thévenon M.F., Gril J., 2007. Synthesis of boric acid ammonium oleate salt for wood preservation: leachability and termite resistance test. *In* : International Research Group on Wood Protection, 20-24 mai 2007, Jackson Hole, Etats-Unis, Doc IRG-WP-07-30435, 14 p.

Lyon F., Pizzi A., Imamura Y., Thévenon M.F., Kartal S., Gril J., 2007. Leachability and termite resistance of wood treated with a new preservative: ammonium borate oleate. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 65 : 359-366.

Lyon F., Thévenon M.F., Hwang W.J., Imamura Y., Gril J., Pizzi A., 2007. Effect of an oil heat treatment on the leachability and biological resistance of boric acid impregnated wood. *Annals of Forest Science*, 64 : 673-678.

Lyon F., Thévenon M.F., Imamura Y., Gril J., Pizzi A., 2007. Development of boron/linseed oil combined treatment as a low-toxic wood protection. Evaluation of boron fixation and resistance to termites according to Japanese and European standards. *In* : IUFRO conference, forest products and environment: a productive symbiosis, 29 octobre - 2 novembre 2007, Taipei, Taiwan, Doc IRG-WP-07-30448, 13 p.



Le dispositif Biobed.

© F. Le Bellec/Cirad

Une nouvelle technique de bioépuration des effluents phytosanitaires

En Guadeloupe, près de la moitié de l'eau douce disponible est de mauvaise qualité chimique. Les pesticides utilisés en agriculture sont la principale cause de cette pollution, les matières actives incriminées étant le glyphosate, le malathion, le diazinon et le cadusafos. Le nettoyage des appareils de pulvérisation et des récipients ainsi que les rejets de fonds de cuve des pulvérisateurs en sont souvent à l'origine. Dès lors, comment éviter cette pollution et que faire de ces effluents phytosanitaires dans l'exploitation agricole ?

C'est pour résoudre ce problème que le Cirad a adapté un système de bioépuration des effluents phytosanitaires, appelé Biobed. Ce dispositif se compose d'une fosse remplie d'un substrat organique dans laquelle l'effluent phytosanitaire est versé. En Guadeloupe, ce substrat n'est autre que de la bagasse de canne à sucre mélangée à de la terre. Il a la propriété de retenir les matières actives et de permettre leur décomposition par l'action enzymatique des micro-organismes qu'il contient. Le Biobed testé en Guadeloupe est un système clos, couvert et imperméable, dont l'efficacité en milieu tropical est en cours d'étude. D'ores et déjà, son efficacité est démontrée pour cinq matières actives utilisées pour la culture des agrumes : le glyphosate (herbicide), le mancozèbe (fongicide), l'abamectine (acaricide), le malathion et la

lambda-cyhalothrine (insecticides). Après six mois de séjour dans le Biobed, ces matières actives sont dégradées à plus de 90 %. Les tests d'écotoxicité, réalisés sur le substrat final pour vérifier son innocuité selon les normes Iso 11268-1 et Iso 11269-2, n'ont révélé aucune toxicité. Ce substrat final pourrait donc être épandu sans danger. Même si des améliorations sont prévues pour rendre le Biobed encore plus efficace, ce dispositif simple et peu onéreux est dès à présent utilisable dans une petite exploitation agricole.

Contact > Fabrice Le Bellec, unité Production fruitière intégrée, fabrice.le_bellec@cirad.fr

De Roffignac L., Cattani P., Mailloux J., Herzog D., Le Bellec F., 2007. Un Biobed à la bagasse testé en Guadeloupe : expérimentation d'un dispositif de gestion d'effluents phytosanitaires agricoles sur l'exploitation. *Phytoma*, 606 : 4-7.

De Roffignac L., Cattani P., Mailloux J., Herzog D., Le Bellec F. Degradation of glyphosate, malathion and lambda cyhalothrin in a bagasse-based substrate in a biobed system, under tropical climate. *Pest Management Science* (sous presse).

Partenaires

Direction régionale de l'environnement de Guadeloupe (France), Région Guadeloupe (France), Union européenne.



Les ravageurs du cotonnier au Mali : comment raisonner le recours aux pesticides ?

Au Mali, 24 000 hectares de cotonniers sont actuellement gérés selon de nouvelles modalités d'intervention contre les ravageurs : les producteurs ne traitent leurs champs que si les niveaux d'infestation excèdent certains seuils prédéfinis. Avec une ou deux pulvérisations au lieu des quatre à six préconisées en agriculture conventionnelle, ils économisent plus de 60 % d'insecticides. Ce résultat est l'aboutissement des recherches menées par le Cirad et l'IER afin de limiter l'usage des pesticides en culture cotonnière.

Partenaires

Agence française de développement (AFD, France), Compagnie malienne pour le développement des textiles (CMDT, Mali), Institut d'économie rurale (IER, Mali).

●●●●● Depuis 2001, les producteurs de coton maliens utilisent beaucoup moins de pesticides. Ils n'interviennent contre les ravageurs que si les niveaux d'infestation excèdent certains seuils, d'où une économie de plus de 60 % d'insecticides, et une ou deux pulvérisations au lieu des quatre à six préconisées en agriculture conventionnelle. L'objectif est double : limiter les coûts de production et atténuer l'impact des traitements sur la santé humaine et sur l'environnement. Toutefois, la règle qui préside à la décision d'intervenir n'a pas été simple à établir. Le Cirad et l'IER y ont travaillé de concert. Ils poursuivent leur collaboration pour en affiner les conditions d'application et pour promouvoir des pratiques propres à limiter le parasitisme.

Définir des seuils d'intervention

L'observation régulière des champs permet d'effectuer le décompte de différents types de ravageurs selon un protocole précis : le résultat de ces comptages est comparé à des valeurs seuils d'infestation prédéfinies à partir desquelles les applications d'insecticide sont nécessaires. Mais ces seuils diffèrent en fonction des conditions de culture. Par exemple, pour les champs semés à faible densité, ce qui est courant au

Mali, le seuil d'infestation sera abaissé par rapport à celui d'une plantation dense. Le potentiel de production du champ est aussi un élément à prendre en compte pour déterminer le seuil d'infestation.

Les valeurs de ces seuils d'infestation peuvent également être ajustées en fonction du développement de la plante, pour tenir compte d'une plus grande incidence des ravageurs aux premiers stades de la croissance et de la fructification. Au début de la culture, la valeur seuil est basse, c'est-à-dire que l'on ne tolère que de faibles infestations, alors que dans les derniers mois cette valeur peut être relevée. Les premiers organes fructifères, qui sont une composante essentielle de la production, sont ainsi épargnés.

Des règles de décision simplifiées à l'étude

Sur le plan pratique, la notion de seuil d'infestation est toutefois assez complexe à utiliser : les producteurs sont en effet souvent plus sensibles à la simple présence des ravageurs qu'à leur densité au sein de la culture. C'est



La pilosité foliaire limite les infestations des jassides, insectes dangereux au Mali, en faisant obstacle à leurs pontes.
© A. Renou/Cirad

pourquoi des règles de décision simplifiées sont actuellement testées : par exemple, la présence d'un seul ravageur est suffisante pour décider de pulvériser ou non l'insecticide. Si cette nouvelle règle peut entraîner l'augmentation de l'usage des insecticides lors des pics d'infestation de fin de culture, elle simplifie l'observation au champ et pourrait répondre aux préoccupations de certains producteurs, qui ne souhaitent pas prendre de risques sur le plan phytosanitaire. Un autre point de simplification est testé : l'observation d'un seul type de ravageur, les chenilles de la capsule, semble suffire pour prendre la décision d'utiliser ou non un insecticide.

Un ensemble de pratiques pour limiter les infestations

D'autres pratiques peuvent réduire les populations d'insectes. Ainsi, l'utilisation de certaines variétés présentant une pilosité foliaire limite les infestations des jassides, insectes dangereux au Mali, en faisant obstacle à leurs pontes. L'écimage des cotonniers au plus fort de la floraison diminue les infestations des chenilles de la capsule, principaux ravageurs du coton au Mali. Les fortes densités de plantation provoquent une fructification plus précoce et plus rapide, qui échappe ainsi aux chenilles, plus nombreuses en fin de cycle de culture.

L'écimage des cotonniers au plus fort de la floraison diminue les infestations des chenilles de la capsule.

© A. Renou/Cirad



Ces résultats vont être validés sur une échelle plus large dans le cadre d'une démarche participative. C'est l'objet du projet Pase* II, financé par l'Agence française pour le développement, dont le lancement est prévu en 2008. Outre les questions de techniques agricoles, ce projet abordera la qualité de l'échelle (parcelle, ensemble de parcelles, terroir) de la prise de décision et les mesures préventives en vue d'éviter l'acquisition de résistances aux insecticides par les ravageurs.

* Pase : Programme d'appui aux systèmes d'exploitation

Contact > Alain Renou,
unité Systèmes de culture annuels,
alain.renou@cirad.fr

Bibliographie

Fok M., Renou A., Vaissayre M., 2007. Challenge of improving cotton competitiveness in a distorted market: analysing the role of crop protection in Francophone Africa. *In* : BCPC conference, 16-18 octobre 2007, Glasgow, Royaume-Uni.

Renou A., Bagayoko B., Téréta I., Togola M. Topping cotton plants: a promising alternative to late insecticide spraying in Mali. *Journal of Cotton Science (soumis)*.



Quelles politiques pour le climat ?

Le changement climatique est l'un des enjeux majeurs des décennies à venir. Les résultats scientifiques les plus récents montrent qu'il est indispensable de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre pour éviter un changement du climat. Mais sur quelles bases négocier dans le cadre des nouvelles instances internationales et comment mettre en œuvre sur le terrain les décisions qui résultent de ces négociations ?

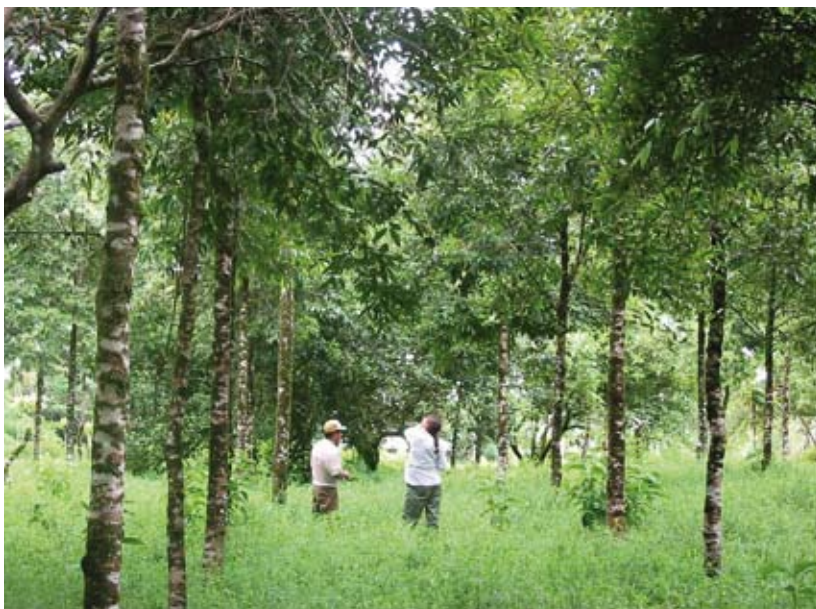
Partenaires

Catie (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica), Center for International Forestry Research (Cifor, Indonésie).

●●●●● Le groupe **Changement global du Catie**, au Costa Rica, et le Cirad ont entrepris une série de recherches concernant les instruments des politiques sur le changement climatique. Elles se situent à l'interface de l'échelon international, celui des négociations sur la Convention sur le climat et du Protocole de Kyoto, et de l'échelon national ou local. Les chercheurs peuvent, en effet, apporter aux décideurs des éléments fondamentaux pour mener à bien les négociations internationales et pour mettre en œuvre les décisions sur le terrain. Certaines décisions prises concernant le Protocole de Kyoto, par exemple, peuvent avoir des répercussions, à l'échelon national, sur les acteurs économiques, les communautés locales et les écosystèmes.

Une plantation forestière, au Costa Rica.

© B. Locatelli/Cirad



A l'échelon international, dans le cadre des négociations latino-américaines de la Convention sur le climat, des questions de recherche ponctuelles ont été définies concernant les règles du Mécanisme pour un développement propre (MDP). Il s'agissait, par exemple, de questions sur certains aspects techniques comme les méthodes de comptabilité des crédits carbone dans les projets forestiers relevant de ce mécanisme. Face à la complexité des méthodes proposées et à la diversité de sujets à discuter, peu de négociateurs pouvaient investir assez de temps dans l'analyse détaillée des différentes options. Des modèles ont donc été développés pour évaluer l'impact de ces options sur les projets forestiers. Leurs résultats, diffusés aux intéressés avant la négociation, leur ont fourni des bases solides pour discuter ces questions. Un travail similaire a été réalisé sur les règles simplifiées du Mécanisme pour un développement propre pour les petits projets forestiers.

Ces recherches ont des retombées concrètes et mesurables. Ainsi, lors de la négociation internationale sur le climat, le Pérou a cité, au nom de 11 pays latino-américains, l'un de ces travaux. De même, en septembre 2007, les fonds carbone de la Banque mondiale ont envoyé au secrétariat de la Convention sur le changement climatique une proposition afin d'augmenter le seuil qui définit un projet forestier de petite taille bénéficiant de règles simplifiées : cette demande de la Banque mondiale était directement inspirée des travaux du Cirad et du Catie.

Sur le plan national, ces travaux permettent d'aider les autorités à appliquer le Mécanisme pour un développement propre, en leur fournissant des

données techniques. Les pays du Sud doivent choisir des paramètres pour définir les forêts qui entrent dans le cadre de ce mécanisme. Ce choix influe fortement sur les terres éligibles pour des projets, ainsi que sur les activités qui peuvent être entreprises dans le cadre d'un projet. Les études réalisées avec les acteurs nationaux de certains pays latino-américains, comme le Costa Rica et le Guatemala, ont permis d'aboutir à une décision qui corresponde à ce que ces pays attendent du Mécanisme pour un développement propre.

A l'échelon local, des études sont conduites sur l'impact des projets sur le carbone en matière de développement local et de biodiversité. Elles ont abouti à des éléments de jugement pour contribuer à l'élaboration d'un standard sur le Climat, les communautés et la biodiversité (standard CCB). Une aide technique, destinée aux concepteurs de projets en Amérique latine, a également été mise en place. Elle facilite leur progression dans le cycle complexe du Mécanisme pour un dévelop-

pement propre et a déjà permis de tirer certaines leçons utiles pour d'autres projets.

Contact > Bruno Locatelli, unité Ressources forestières et politiques publiques, bruno.locatelli@cirad.fr

Bibliographie

Locatelli B., Pedroni L., 2006. Will simplified modalities and procedures make more small-scale forestry projects viable under the clean development mechanism? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11 : 621-643.

Locatelli B., Pedroni L., Salinas Z., 2008. Design issues of forestry projects under the Clean Development Mechanism. *In* : Climate change and forests: emerging policy and market opportunities, Streck C. et al. (éd.). Washington : Brookings Institution Press (*sous presse*).

Martínez C., Imbach P., Locatelli B., 2008. ¿Cómo seleccionar una definición de bosque en un país para el Mecanismo de Desarrollo Limpio? *Recursos Naturales y Ambiente* (*sous presse*).



Les espèces endémiques à la Réunion, de la multiplication à la plantation



Le Cirad assure le suivi des pépinières de production de plants.
© J.M. Sarrailh/Cirad

L'île de la Réunion, avec 35 % de sa surface couverte de forêts peu perturbées par l'homme, recèle une biodiversité encore remarquable. Pourtant, l'invasion des milieux naturels par les essences introduites — qu'elles soient cultivées dans les jardins ou fassent l'objet de plantations ornementales le long des routes — constitue une menace pour ces forêts. Il est désormais indispensable de remplacer progressivement ces espèces par des plantes endémiques ou indigènes. Depuis plusieurs années déjà, le Cirad mène des recherches sur l'écologie de la germination des espèces réunionnaises et leur régénération, de la production de fruits jusqu'à l'émergence et la survie des plantules. Un préalable à leur utilisation en plantation.

sein de ce projet financé par la région Réunion et par la Communauté européenne, la formation des pépiniéristes aux techniques de multiplication et le suivi des pépinières, de la récolte des graines à la production des plants. Les observations recueillies dans le cadre de ce projet permettront de mieux comprendre les exigences écologiques encore mal connues de ces plantes endémiques.

Contact > Jean-Michel Sarrailh, unité Dynamique des forêts naturelles, jean-michel.sarrailh@cirad.fr

Derroire G., Schmitt L., Rivière J.N., Sarrailh J.M., Tassin J., 2007. The essential role of tree-fern trunks in the regeneration of *Weinmania tinctoria* in rain-forest on Reunion, Mascarene Archipelago. *Journal of Tropical Ecology*, 23 : 487-492.

Sarrailh J.M., Baret S., Rivière E., Le Bourgeois T., 2007. Arbo Run V1 : arbres et arbustes indigènes de la Réunion. Saint-Denis, Cirad (cédérom).

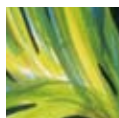
Tassin J., Sarrailh J.M., Rivière J.N., 2007. Essences forestières et invasions : des systèmes de prédiction toujours plus fiables. *Bois et forêts des tropiques*, 292 : 71-79.

<http://arbres-reunion.cirad.fr/>

Partenaires

Conseil général de la Réunion, Conservatoire botanique de Mascarin (CBNM, Réunion), Etablissements horticoles Yves Payet, LaMare espaces verts SA, Office national des forêts (ONF, Réunion), Pépinière Vocatour, Région Réunion, Scetauroute (Réunion).

Ces travaux débouchent concrètement sur la conception d'itinéraires techniques à l'usage des pépiniéristes. Ainsi, en 2007, des fiches techniques détaillées et un cédérom ont été publiés, qui décrivent ces essences et explicitent leurs méthodes de multiplication ; un site Web est prévu pour février 2008. En collaboration avec l'Office national des forêts de la Réunion, le Cirad accompagne aussi le projet de plantation d'arbres ou d'arbustes le long de la route des Tamarins, qui prévoit la mise en place de 500 000 plants d'essences locales pour agrémenter les abords de cet axe. Il assure, au



Les agroforêts de Guinée forestière, une exploitation durable ?

La Guinée forestière est une région enclavée qui abrite les derniers massifs de forêt naturelle d'Afrique de l'Ouest. C'est aussi une région propice à l'agriculture : cultures annuelles et pérennes s'y combinent en systèmes variés, fondés sur une exploitation complexe des ressources. Mais ces systèmes reposent sur des équilibres biologiques et économiques fragiles, que les évolutions socio-économiques actuelles risquent de perturber. Le Cirad travaille, avec l'Institut de recherche agronomique de Guinée, sur la dynamique de ces systèmes de culture, leurs performances et les conditions de leur pérennité.

●●●●●● **La Guinée forestière abrite** à la fois des réserves forestières classées et des zones agricoles. Les cultures annuelles et pérennes s'y combinent en systèmes variés, fondés sur l'exploitation complexe des ressources biologiques, le plus souvent sans aucun apport d'intrant extérieur. La durabilité de ces systèmes agricoles pourrait cependant être remise en cause par l'augmentation de la pression démographique. Ces systèmes reposent en effet sur des équilibres biologiques et économiques fragiles, qu'il est indispensable de mieux connaître pour pouvoir accompagner les agriculteurs dans leur adaptation aux changements socio-économiques locaux, régionaux et internationaux. Le Cirad, dans le cadre de projets financés par le ministère français des Affaires étrangères, étudie, en partenariat avec l'Irag, la dynamique de ces systèmes de culture complexes et évalue leurs performances et les conditions de leur durabilité.

L'arbre, une composante essentielle des systèmes de culture

Les trois principaux modes de mise en valeur du milieu ont tous une composante arborée. La riziculture pluviale sur coteau conserve, après défriche et brûlis, les gros arbres et les palmiers à huile subspontanés (*Elaeis guineensis*) et associe de nombreuses espèces alimentaires (maïs, gombo, aubergines, manioc, arachide). Ces rizières, qui sont donc aussi de véritables palmeraies naturelles, sont destinées à la production de riz, de condiments et d'huile rouge. La riziculture

de bas-fond conserve les palmiers raphia pour la production de vin de palme, qui joue un rôle socio-économique croissant. Enfin, les agroforêts sont organisées en anneau autour des villages : elles abritent le caféier Robusta (*Coffea canephora*) associé à de nombreuses espèces arborées de forêt. La structure de ces agroforêts est proche de celle des forêts naturelles.

Depuis 25 ans, la surface des agroforêts à caféiers a considérablement augmenté aux dépens de la riziculture pluviale sur coteau et des massifs de forêts naturelles. Malgré leur importance économique et leur rôle potentiel dans la conservation de la biodiversité, ces agroforêts sont peu connues. Les premières études en montrent l'importante richesse floristique — 313 espèces végétales recensées, dont 232 espèces ligneuses — et la structure complexe. Elles sont en général constituées de trois strates de végétation. Les caféiers,

La récolte de palmiers à huile subspontanés dans une agroforêt de Guinée. © E. Malézieux/Cirad



Partenaires

Institut de recherche agronomique de Guinée (Irag, Guinée), Institut de recherche pour le développement (IRD, France), Ministère des Affaires étrangères et européennes (France).

dont la plantation est très hétérogène, occupent la strate intermédiaire, et sont parfois associés à des colatiers (*Cola nitida*), des cacaoyers (*Theobroma cacao*), quelques arbres fruitiers (agrumes, avocatiers...) et des bananiers. La strate supérieure ombrage les caféiers et comprend des palmiers à huile (*Elaeis guineensis*) et de nombreuses espèces arborées spontanées de forêt dense ou de savane — *Albizia* spp., iroko (*Melicia excelsa*), framiré (*Terminalia ivorensis*), fraké (*Terminalia superba*), fromager (*Ceiba pentadra*), dabema (*Piptadeniastrum africanum*)...

Des rendements faibles mais une multitude de produits indispensables

Les rendements en café des agroforêts — de l'ordre de 600 kilos de café marchand par hectare et par an — sont certes beaucoup plus faibles que ceux de l'agriculture conventionnelle — jusqu'à 2,25 tonnes par hectare et par an. Mais ces agroforêts, en offrant de nombreux produits indispensables à la vie des agriculteurs, contribuent à l'équilibre économique et social de cette région isolée. Sur les 232 espèces ligneuses identifiées, 75 ont un usage commercial, 45 un usage alimentaire, 64 un usage médicinal, 47 sont exploitées comme bois d'œuvre. Certaines sont employées aussi pour le bois de chauffe, pour les clôtures et pour l'artisanat. Une même espèce a souvent plusieurs usages. Ces agroforêts sont également un moyen de délimitation et d'appropriation du foncier : elles constituent d'ailleurs un capital transmis d'une génération à l'autre.

La ceinture agroforestière du village de Nienh, en Guinée forestière, assure de multiples fonctions : marquage foncier, protection, production d'aliments, de bois, de médicaments.
© N. Lamanda/Cirad.



Cependant, l'évolution des agroforêts, qui se développent aux dépens de zones de cultures vivrières ou de réserves forestières, questionne la durabilité des pratiques paysannes. En effet, l'exploitation croissante du bois d'œuvre de ces agroforêts entraîne une réduction de leur complexité structurale et floristique, dont les conséquences, en termes économiques et environnementaux, restent à évaluer. De plus, les agriculteurs développent en parallèle des plantations commerciales quasi monospécifiques de palmiers à huile pour augmenter et diversifier leurs revenus. C'est pourquoi les objectifs des recherches sur les agroforêts de Guinée forestière sont maintenant d'évaluer leurs performances agroécologiques et socio-économiques et de déterminer leurs rôles dans la conservation de la biodiversité et des savoirs locaux. Les résultats permettront de proposer aux services d'appui à l'agriculture de Guinée des recommandations techniques adaptées visant une production agricole variée, rentable et viable.

Contacts > Eric Malézieux, Nathalie Lamanda, unité Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (UMR System),
eric.malezieux@cirad.fr

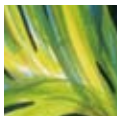
Bibliographie

Camara A., 2007. Dynamiques régionales et systèmes ruraux en Guinée Forestière. Vers la conception d'un observatoire pour le développement. Thèse de Géographie, université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 250 p.

Diabaté M., Lamanda N., Wagler C., Malézieux E., de Foresta H., 2007. Farmers' contribution to the conservation of biodiversity: the coffee based agroforestry systems in Guinée Forestière (Guinea, West Africa). In : IIInd symposium on multistrata agroforestry, Catie, 17-21 septembre 2007, Turrialba, Costa Rica.

Lamanda N., Camara A., Diabaté M., Kolie D., Kalms J., Malézieux E., Cheylan J., 2007. Spatio-temporal extension of agroforestry systems in Guinée Forestière (Guinea, West Africa). In : IIInd symposium on multistrata agroforestry, Catie, 17-21 septembre 2007, Turrialba, Costa Rica.

Madelaine C., Malézieux E., Sibelet N., Manlay R., 2008. Semi-wild palm groves reveal agricultural change in the forest region of Guinea. Agroforestry Systems, 73 : 89-204.



Construire en partenariat des systèmes de production durables au Brésil

Dans la région centre-ouest du Brésil, les exploitations familiales sont majoritaires. Parmi ces exploitations, celles qui bénéficient de la réforme agraire évoluent dans des conditions précaires, qui affectent leur viabilité. Le Cirad, dans le cadre d'un projet avec l'Embrapa et l'université de Brasília, s'est intéressé aux systèmes de culture innovants fondés sur l'utilisation du semis direct et l'inclusion de plantes de couverture, et à la construction de ces innovations en partenariat avec les acteurs locaux du développement.

Partenaires

AgroParisTech (France), Ecole technique agricole d'Unaí (Brésil), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, Brésil), Faculté d'agronomie d'Unaí (Brésil), Institut de recherche pour le développement (IRD, France), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Syndicat des travailleurs ruraux d'Unaí (Brésil), Université de Brasília (Brésil), Wageningen Plant Production Systems Department (Pays-Bas).

●●●●● La région centre-ouest du Brésil, qui fait partie des Cerrados, se caractérise par une forte concentration foncière. Les exploitations familiales représentent 67 % des exploitations, mais seulement 13 % des surfaces. Parmi ces exploitations, celles qui bénéficient de la réforme agraire font face à de fortes contraintes : les agriculteurs disposent souvent de terres peu fertiles et pâttissent d'un contexte socio-économique défavorable. Cette situation les place dans des conditions précaires, qui affectent la viabilité de leurs exploitations. Le lait est devenu leur principale production de rente : ainsi, à Unaí, un municipe de l'Etat du Minas Gerais, plus de la moitié de l'approvisionnement de la coopérative laitière provient des petits producteurs. Dans un contexte d'intensification laitière, la culture du maïs peut continuer à jouer un rôle pivot grâce à ses contributions multiples : nourrir la famille, les petits animaux et les vaches, faciliter le renouvellement des pâturages et assurer des revenus en cas de surplus. Cette production rencontre toutefois des problèmes, qui pourraient être résolus par des systèmes de culture innovants fondés sur l'utilisation du semis direct et l'inclusion de plantes de

couverture, pour peu qu'ils soient adaptés aux objectifs et contraintes des agriculteurs.

C'est dans ce contexte que l'Embrapa et l'université de Brasília ont lancé en 2002 un projet fondé sur une démarche participative, dont l'objectif était d'aider ces agricultures familiales. Le projet Unaí s'est engagé à produire des références sociotechniques sur les systèmes de production, à promouvoir l'insertion des exploitations aux marchés, à renforcer les capacités d'organisation des agriculteurs et à former de jeunes agents de développement rural issus des familles du secteur de la réforme agraire. Le Cirad a rejoint le projet en 2004, en concentrant ses interventions sur les aspects de gestion des ressources naturelles et sur les démarches d'accompagnement des acteurs.

Des dispositifs expérimentaux, en milieux contrôlé et réel, ont été installés pour évaluer les systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale. Outre le semis direct en traction animale et le contrôle chimique des adventices, plusieurs plantes de couverture — des légumineuses (*Cajanus cajan*, *Crotalaria*) ou des graminées (*Brachiaria ruziziensis*, sorgho, mil) — ont été introduites en relais dans la culture du maïs. Les premiers résultats montrent la bonne productivité de ces systèmes innovants, malgré le faible niveau d'intrants chimiques utilisés. Les agriculteurs, quant à eux, s'intéressent à ces systèmes car ils leur évitent d'avoir à louer un tracteur et réduisent leurs coûts de production. Les plantes de couverture permettent, par ailleurs, une production de biomasse qui peut servir à nourrir le cheptel laitier durant la

Démonstration du pulvérisateur tracté aux étudiants de l'école d'agriculture de Unaí.

© B. Triomphe/Cirad





L'association du maïs et d'une légumineuse de couverture comme *Cajanus* en saison sèche assure une bonne productivité.
© B. Triomphe/Cirad

saison sèche. En revanche, leurs avantages à plus long terme, comme l'amélioration de la fertilité et la lutte contre les adventices, ne sont pas encore perçus par les agriculteurs.

Au-delà du travail sur les systèmes de culture innovants, le projet s'est engagé dans une démarche de construction d'innovations en partenariat entre la recherche et les acteurs. Grâce à un cycle de réflexion et de formation, les dispositifs de dialogue multiacteur et d'expérimentation se transforment graduellement. Les confrontations et les échanges montrent que ces processus rencontrent des difficultés, mais révèlent aussi les conditions de leur mise en place. Une analyse des collectifs d'agriculteurs et de leur fonctionnement a permis d'examiner la relation entre les organisations locales et les politiques publiques de développement rural à l'échelle municipale et intermunicipale, dans le contexte du nouveau programme fédéral de développement territorial.

Contacts > Eric Scopel, unité Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (UMR System), Eric Sabourin, unité Actions collectives, politiques et marchés,

Bernard Triomphe, unité Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (UMR Innovation), bernard.triomphe@cirad.fr

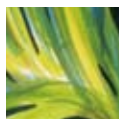
Bibliographie

Maltas A., Corbeels M., Scopel E., Macena F., Oliver R., Douzet J.M., Wery J., 2007. Does soil N supply increase under continuous direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrado region of Brazil? *Plant and Soil*, 298 : 161-173.

Métay A., Oliver R., Scopel E., Douzet J.M., Alves Moreira J.A., Maraux F., Feigl B., Feller C., 2007. N₂O and CH₄ emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Brazil, Cerrados). *Geoderma*, 141 : 78-88.

Lenné P., Sabourin E., Triomphe B., Nascimento de Oliveira M., 2007. La coconstruction des connaissances entre chercheurs et agriculteurs dans les processus d'innovation : le cas du semis direct dans les Cerrados brésiliens. *In* : 3^e conférence living knowledge, 29 août-1^{er} septembre 2007, Paris, France.

Sabourin E., Xavier V.J.H., Oliveira M.N., 2007. Lógica familiar e lógica coletiva nos assentamentos de reforma agrária do Brasil: o caso do município de Unaí (MG). *Estudos Sociedade e Agricultura*, 15 : 23-60.



Mafate, modélisation et analyse de flux de matières à l'échelle de territoires

Les travaux qu'il mène sur la gestion des effluents d'élevage à la Réunion ont conduit le Cirad à élaborer une démarche à vocation générique de modélisation et d'analyse de flux de matières à l'échelle de territoires. Cette démarche permet de comprendre les pratiques des agriculteurs et les aide à concevoir des stratégies de gestion de ces flux.

●●●●● **Le Cirad a conçu, avec ses partenaires**, la démarche Mafate, modélisation et analyse de flux de matières à l'échelle de territoires, en s'intéressant à la gestion des effluents d'élevage à la Réunion. A partir d'enquêtes réalisées auprès de 200 exploitations réparties sur toute

l'île, 26 exploitations types ont été identifiées par leur environnement naturel, leurs caractéristiques structurelles et leurs stratégies de gestion. Un modèle d'action a ensuite été construit. Il décrit les paramètres structurels des exploitations et les règles de gestion selon cinq modules fonction-

Partenaires

AgroParisTech (France),
Chambres d'agriculture
de Bretagne, Fédération
régionale des coopératives
agricoles de la Réunion
(FRCA, France),
GIE Terre-Eau (France),
Institut de recherche
en mathématiques,
informatique et leurs
applications (Iremia,
Université de la Réunion,
France), Institut national de
la recherche agronomique
(Inra, France).

nels : production, stockage, épandage, transformation, importation et exportation. Ce travail préalable de conception a abouti à trois modèles de simulation. Le premier, Magma, simule les transferts entre les élevages et les cultures dans une exploitation. Le deuxième, Biomass, simule les transferts de matière organique dans une petite région entre les exploitations excédentaires et les exploitations déficitaires. Le dernier, Approzut, simule l'approvisionnement d'une unité collective de traitement d'effluents à partir de multiples élevages. Des outils de calcul ont également été créés pour comparer les performances et les coûts des procédés de traitement des effluents, et un système d'information géographique a été constitué pour dresser des bilans de fertilisation.

Ces modèles simulent les transferts de matières entre des unités productives — élevages, cultures, unités de traitement — représentées par des stocks connectés par des flux. Ils permettent de répondre aux questions classiques de la gestion de flux : quelle unité doit transférer ses matières ? Vers quelle autre unité ? Selon quel calendrier ou quel événement ? Avec quelles ressources de transport ou de force de travail ? En quelle quantité ? Cette démarche a été adaptée, en intégrant des modèles biophysiques, à la simulation de l'ensemble des flux de biomasse au sein d'exploitations d'élevage laitier.

A partir du scénario de gestion d'un système, ces modèles permettent également de tester différentes stratégies d'amélioration en procédant graduel-

lement par modification des règles de gestion, des éléments matériels et du mode de production de l'exploitation. Ces modifications correspondent à la remise en cause de choix opérationnels à très court terme (moins d'un cycle de production), de choix tactiques à moyen terme (au moins un cycle de production) et de choix stratégiques à plus long terme (plusieurs cycles de production). Pour la gestion des effluents d'élevage, on a ainsi démontré l'intérêt de travailler sur la dynamique du système plutôt que de calculer des bilans annuels. En effet, la simulation permet de synchroniser les dynamiques d'offre et de demande d'effluents, qui sont ignorées par un bilan annuel.

Les modèles d'aide à la décision des acteurs agricoles sont en cours de validation dans le cadre de deux projets : l'un sur l'approvisionnement de l'unité de traitement du lycée agricole de Saint-Joseph à la Réunion, l'autre sur la simulation de plans d'épandage collectifs en Ille-et-Vilaine. Les stratégies de gestion simulées doivent encore être évaluées pour leur impact sur l'environnement, notamment en intégrant des modèles qui simulent les flux vers l'environnement et en utilisant des méthodes d'évaluation environnementale multicritères, comme l'analyse du cycle de vie.

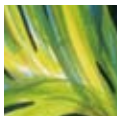
Contacts > François Guerrin, Jean-Michel Médoc, Jean-Marie Paillat, unité Risque environnemental lié au recyclage, francois.guerrin@cirad.fr

Bibliographie

- Aubry C., Paillat J.M., Guerrin F., 2006. A conceptual model of animal waste management in the Reunion Island. *Agricultural Systems*, 88 : 294-315.
- Lopez-Ridaura S., Guerrin F., Paillat J.M., van der Werf H., Morvan T., 2007. Agronomic and environmental evaluation of collective manure management for a group of farms. *In* : Donatelli M. et al. (éd.), *Farming systems design 2007*, 10-12 septembre 2007, Catane, Italie. Pavia : La Goliardica Pavese, p. 95-96.
- Ralambondrainy T., Médoc J.M., Courdier R., Guerrin F., 2007. Tools to visualise the structure of multi-agent conversations at a macro level. *In* : *Modsim 2007*, 10-13 décembre 2007, Christchurch, Nouvelle-Zélande.
- Vayssières J., Lecomte P., Guerrin F., Nidumolu U.B., 2007. Modelling farmers' action: decision rules capture methodology and formalisation structure: a case of biomass flow operations in dairy farms of a tropical island. *Animal*, 1 : 716-733.

Épandage de lisier de porcs en Bretagne par injection, au premier plan, et par aspersion, à l'arrière-plan.
© J.M. Paillat/Cirad





Gouvernance de l'eau à l'échelle du bassin-versant en Afrique du Sud

Partenaires

Banque mondiale (Etats-Unis), Centre for Environmental Economics and Policy in Africa (Ceepa, Afrique du Sud), Department of Water Affairs and Forestry (DWAF, Afrique du Sud), Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (Cemagref, France), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), International Water Management Institute (IWMI, Sri Lanka), Ministère des Affaires étrangères (France), SupAgro Montpellier (France), Tshwane University of Technology (Afrique du Sud), Université de Gênes (Italie), Université de Pretoria (Afrique du Sud), Université de Rhodes (Afrique du Sud), Université Montpellier III (France), Water Research Commission (WRC, Afrique du Sud).

En Afrique du Sud, la loi nationale sur l'eau a instauré de nouvelles organisations décentralisées pour gérer cette ressource rare. Mais malgré une volonté politique manifeste et des moyens économiques, ces organisations ont du mal à se mettre en place. Compétences insuffisantes, manque d'information, conflits d'intérêts entravent leur action. Les recherches du Cirad et de ses partenaires sud-africains visent à consolider ces organisations en leur proposant des outils et des méthodes qui leur permettent de mener à bien négociations et prises de décision.

●●●●●● En Afrique du Sud, la loi nationale sur l'eau de 1998 a institué de nouvelles organisations décentralisées : les agences de bassin (Catchment Management Agencies) et les associations d'utilisateurs (Water Users Associations). Ces organisations favorisent l'émergence de réseaux de politique publique, qui fonctionnent sur la base de la négociation entre acteurs. Malgré une volonté politique manifeste et des moyens économiques, elles se mettent en place lentement. Des recherches ont été menées sur les approches socio-économiques, les outils

et les méthodes qui leur permettraient de mieux négocier et de mieux étayer leurs décisions collectives pour une gestion durable de l'eau.

Un modèle économique d'équilibre partiel a été construit pour interpréter la compétition intersectorielle en matière de demande d'eau à l'échelle du bassin-versant de Steelpoort. Il doit aussi permettre de calculer le prix d'équilibre de la ressource. La valeur économique de l'eau, pour des usages domestiques et productifs, a été estimée en partant d'enquêtes en zone rurale. Une typologie précise des acteurs et des usages a aussi été établie dans les bassins de Steelpoort, du Kat River et de Sekororo. Un modèle dynamique de système (Aware) et un jeu de rôle pédagogique, dérivé du modèle, ont été utilisés au cours de sessions de formation pour le personnel du ministère des Eaux et des Forêts et intégrés aux programmes de formation du personnel des nouvelles agences de bassin. Grâce à une démarche de modélisation d'accompagnement, l'association multisectorielle d'utilisateurs constituée au Kat River a pu établir un plan de gestion du bassin, conformément à la nouvelle loi sur l'eau.

L'usage expérimental du jeu de rôle construit sur le terrain au Kat River aborde une question de recherche précise : l'absence de répétabilité intrinsèque aux démarches de modélisation d'accompagnement, qui ne permet pas d'extrapoler les enseignements d'une séance jouée à d'autres situations. Afin d'aborder ce problème, un proto-

Le barrage du Kat River, en Afrique du Sud : la décentralisation suppose une forte implication des acteurs dans la gestion des réserves d'eau artificielles.

© S. Farolfi/Cirad





Petite agriculture irriguée à Sekororo, dans le Limpopo : l'accès à l'eau est déterminant pour permettre aux ménages ruraux de conduire une agriculture de subsistance ou commerciale.
© S. Farolfi/Cirad

cole expérimental visant à tester des hypothèses économiques issues des séances a été créé. Le problème de la répétabilité de la démarche est également au centre d'un autre projet du Cirad en Afrique du Sud, qui vise à concevoir un modèle abstrait de bassin-versant et à

établir une démarche facilement transférable, qui pourraient être adoptés à une échelle géographique et institutionnelle plus large que celle du petit ou du moyen bassin-versant.

Les recherches se poursuivent : un projet, intitulé Arise, vient d'être lancé au sein du réseau franco-sud-africain en sciences et technologies de l'eau (Safewater) pour une durée de quatre ans. Il développera des méthodes pour résoudre des problèmes de gouvernance de la ressource en eau dans un contexte rural. Il permettra aussi de renforcer la coopération entre les équipes de recherche française et sud-africaine, en particulier dans le domaine de la formation universitaire.

Contact > Stefano Farolfi, unité Gestion de l'eau, acteurs et usages (UMR G-eau), stefano.farolfi@up.ac.za

Bibliographie

Banda B., Farolfi S., Hassan R., 2007. Estimating water demand for domestic use in rural South Africa in absence of price information. *Water Policy*, 9 : 513-528.

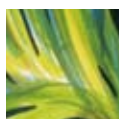
Dinar A., Farolfi S., Patrone F., Rowntree K., 2008. To negotiate or to game theorize: evaluating water allocation mechanisms in the Kat Basin, South Africa. *In* : Game theory and policy making in natural resources and the environment. Dinar *et al.* (éd.). Routledge (*sous presse*).

Farolfi S., Mabugu R., Ntshingila S., 2007. Domestic water uses and values in Swaziland: contingent valuation analysis. *Agrekon*, 46 : 157-170.

Farolfi S., Rowntree K., 2007. Accompanying local stakeholders in negotiation processes related to water allocation through simulation models and role-playing games: an experience from South Africa. *Empowers Insights*, 1 : 5-7.

Site

www.ceepa.co.za/arise.html



Résoudre les conflits pour l'eau en zone périurbaine d'Amérique latine

Dans les régions périurbaines du Sud, la compétition pour l'eau engendre bien souvent des conflits. Le projet Negowat, conduit au Brésil et en Bolivie, devait permettre d'apaiser ces tensions en développant les négociations entre usagers.

●●●●● Dans les régions périurbaines du Sud, l'eau devient une ressource rare et sa répartition entre usagers est souvent conflictuelle. Cette compétition est d'autant plus intense que l'absence d'assainissement des sols et leur imperméabilisation favorisent la pollution et la dégradation des eaux. Si la gouvernance des ressources repose désormais sur une gestion concertée, ses

instances de discussion sont souvent fragilisées par une sous-représentation des communautés locales, par de fortes inégalités sociales et par des asymétries de pouvoir et d'information.

Le projet Negowat*, qui a duré quatre ans, visait à réduire les tensions entre groupes d'intérêts et à développer la négociation pour améliorer la



Une zone d'agriculture périurbaine dans la région de São Paulo, au Brésil. © R Ducrot/Cirad

gestion de l'eau. Il devait permettre de mieux intégrer la société civile dans les décisions collectives. Il a été réalisé dans la périphérie de Cochabamba, en Bolivie, et dans deux bassins-versants de la région métropolitaine de São Paulo : Guarapiranga et Alto-Tietê Cabeiceras. L'intérêt et les limites d'outils de simulation comme les jeux de rôle ont pu y être testés, soit pour renforcer les compétences des participants, soit pour trouver des solutions consensuelles.

En Bolivie, mobiliser les communautés, sensibiliser les acteurs

En Bolivie, le projet s'est décliné selon trois interventions. La première avait pour objectif de mettre en place une plate-forme de discussion sur un projet d'eau et d'assainissement très critiqué. Elle a permis d'analyser les difficultés rencontrées par les plates-formes multiacteurs dans un contexte de fortes inégalités de pouvoir et d'information. La deuxième visait à développer une démarche multiétape pour aider les associations communautaires dans leur gestion technique, administrative et financière. Les quatre associations qui ont testé cette démarche ont ainsi pu bâtir leur réglementation interne, obtenir un statut juridique et négocier des tarifs spéciaux pour l'énergie. Surtout, les compétences de leurs gestionnaires se sont nettement améliorées et le contrôle social de leurs activités par les usagers a progressé. Si les tarifs

déterminés par un groupe de travail à partir de simulations n'ont pas été collectivement validés, l'ensemble du processus s'est accompagné d'un affermissement de la situation financière et d'un renforcement de la légitimité des comités d'eau potable de la région. La troisième intervention visait à réduire au maximum l'impact de l'urbanisation sur les réseaux d'irrigation dans deux communautés. Les étapes initiales de diagnostic et de sensibilisation ont permis de mobiliser les communautés, de sensibiliser les acteurs, y compris les autorités, aux difficultés rencontrées et de discuter certaines solutions. Dans un deuxième temps, des projets d'infrastructures et d'agréments négociés ont été proposés pour la maintenance partagée des infrastructures. Si les projets d'infrastructures n'ont pu trouver de financements, l'intervention a permis d'attirer l'attention sur le double rôle, d'irrigation et de drainage, des canaux dans les zones périurbaines et de modifier l'attitude de l'ensemble des acteurs à l'égard de l'eau. Ainsi, la ville de Tiquipaya a affecté une petite ligne budgétaire à la maintenance des canaux d'irrigation et la fédération des associations d'irrigants utilise l'agrément élaboré comme base de discussion en vue d'un accord de plus large envergure.

Au Brésil, mieux négocier et gérer la qualité de l'eau

Au Brésil, une première intervention avait pour objectif de renforcer les capacités de négociation des responsables locaux en utilisant une démarche de modélisation d'accompagnement, adaptée aux régions densément peuplées. Elle reposait sur une série d'ateliers, avec un jeu informatisé, développé et testé dans deux petites zones. Elle a permis de modifier les interactions des acteurs, et d'élargir leur vision du fonctionnement du système local de gestion de l'eau. Elle a mis en évidence les difficultés qu'ont les institutions à tenir compte des intérêts véritables des acteurs locaux et à adopter des démarches de planification moins hiérarchiques. La seconde intervention visait à sensibiliser les membres d'un comité de bassin à la gestion de la qualité de l'eau et à amorcer une discussion sur le rôle et la place de l'agriculture dans ce type de bassin-versant. Elle s'est appuyée sur un jeu de rôle informatisé. Elle a permis, en particulier, de mieux comprendre les interdépendances du système et donc la véritable signification de la gestion intégrée de l'eau. Elle a amené les acteurs à s'interroger de façon plus précise sur

Partenaires

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta, Brésil), Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental (AIIEGEA, Brésil), Centro de estudios de la realidad económico y social (Ceres, Bolivie), Instituto Polis (Brésil), Natural Resources Institute (NRI, Royaume-Uni), Universidad mayor de San Simon (UMSS, Bolivie), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp, Brésil), Universidade de São Paulo (USP, Brésil). Ce projet a été financé dans le cadre du programme de coopération internationale de la Commission européenne (Inco) avec l'appui du ministère des Affaires étrangères du Brésil.

les causes de la dégradation de la qualité de l'eau et a abouti à de nouvelles recherches.

Au-delà des connaissances acquises sur le système de gestion de l'eau de ces régions, les travaux ont permis d'analyser les limites et l'intérêt des plateformes multiacteurs pour la gestion des ressources naturelles, de discuter de l'utilisation d'outils de simulation et d'aborder la gouvernance des ressources naturelles à plusieurs niveaux. Le suivi et l'évaluation de ces interventions montrent que les représentants locaux ont renforcé leurs capacités d'interaction et de négociation avec les autres organisations, tout en sensibilisant les acteurs institutionnels à certains aspects de la gestion de l'eau qui n'étaient pas pris en compte initialement. Reste que les résultats et leur diffusion sont limités par des faiblesses organisationnelles et institutionnelles typiques des zones périurbaines.

* Negowat : Facilitation des négociations concernant les conflits sur l'eau en région périurbaine.

Contact > Raphaële Ducrot, unité Gestion de l'eau, acteurs et usages (UMR G-eau),
raphaele.ducrot@cirad.fr

Bibliographie

Butterworth J., Ducrot R., Faysse N., Janakarajan S. (éd.), 2007. Peri-urban water conflicts: supporting dialogue and negotiation. Delft, IRC, Technical Paper Series n° 50, 128 p. (www.negowat.org).

Camargo M.E., Jacobi P.R., Ducrot R., 2007. Using role-playing game for capacity building on water and land management: comparing some Brazilian experiences. *Simulation and Gaming*, 38 : 472-493.

Faysse N., 2006. Troubles on the way: an analysis of the challenges faced by multi-stakeholder platforms. *Natural Resources Forum*, 30 : 219-229.

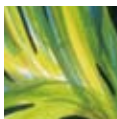
Quiroz F., Faysse N., Ampuero R. (éd.), 2006. Apoyo a la gestión de comités de agua potable: experiencias de fortalecimiento a comités de agua potable con gestión comunitaria en Bolivia y Colombia. Cochabamba, Etreus (www.negowat.org).

Site

www.negowat.org

Une session du jeu sur
l'impact de l'urbanisation
sur les canaux d'irrigation,
à la périphérie
de Cochabamba, en Bolivie.
© Vega





Renforcer les organisations de producteurs au Costa Rica

Les organisations de producteurs ont un rôle déterminant dans l'adaptation de l'agriculture aux évolutions des marchés. Face à la mondialisation des échanges, aux exigences accrues des consommateurs, aux questions environnementales, elles aident les agriculteurs à mieux ajuster leurs productions. Au Costa Rica, un programme a été mis en place en partenariat avec le Cirad afin de renforcer leur action. Un travail de longue haleine, qui associe formation, amélioration des services fournis, coordination entre acteurs et définition des politiques publiques.

Partenaires

Mesa Nacional Campesina (Costa Rica), Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica), Unidad Regional de Asistencia Técnica (Ruta, Amérique centrale), Universidad Nacional (Costa Rica).

●●●●● Depuis 2003, un programme d'appui aux organisations de producteurs du Costa Rica est conduit par le ministère de l'Agriculture et de l'Elevage et des organisations nationales de producteurs, comme Mesa Nacional Campesina, en partenariat avec le Cirad. Ce programme, qui s'étend sur plusieurs années, a pour objectifs de former les dirigeants et les membres des organisations, d'améliorer les services fournis aux producteurs, de renforcer la coordination entre acteurs au sein d'une filière ou d'un territoire, mais aussi de définir des politiques publiques favorables à l'agriculture familiale.



délais à suivre. Par exemple, dans le secteur des plantes ornementales, des itinéraires techniques ont été définis afin de produire une qualité standard qui pourra être exportée vers les Etats-Unis et l'Europe. De même pour la production d'ananas, les pratiques et l'organisation de la production ont été adaptées afin d'obtenir la certification EurepGap indispensable pour certains supermarchés européens. Ces travaux sont fondés sur une démarche de recherche-action qui inclut des enquêtes auprès des producteurs pour connaître leurs stratégies et leurs pratiques, des réunions de restitution et d'échanges d'expériences et un accompagnement des organisations dans la définition de leur programme d'actions.

Défendre l'agriculture familiale

Depuis plus de dix ans, les organisations paysannes de la région Huetar Norte souhaitaient trouver les moyens de défendre leur agriculture face à la libéralisation de l'économie et au retrait progressif des aides étatiques, à l'origine d'une forte crise de l'agriculture familiale. En juin 2003, 30 organisations ont participé à un atelier de réflexion, soutenu par le Cirad et le ministère de l'Agriculture, point de départ de plusieurs années de travail en commun sur leurs expériences, les atouts et les faiblesses des exploitations, des organisations et des filières de la région. Ce travail collectif a abouti, en 2005, à un programme d'actions partagé par l'ensemble des organisations de la région.

Dans cette logique, des rencontres ont eu lieu entre organisations de producteurs et institutions d'appui dans les huit régions du Costa Rica, en

Construire des innovations sociotechniques

Dans un premier temps, les travaux ont porté sur la mise au point d'innovations sociotechniques qui permettraient aux organisations de producteurs de répondre aux nouvelles exigences des acheteurs : quantité à livrer, qualité à respecter,

Pour la production d'ananas, les pratiques et l'organisation de la production ont été adaptées afin d'obtenir la certification EurepGap indispensable pour certains supermarchés européens.

© G. Faure/Cirad

Sendry Veerabadren, stagiaire de l'Institut des régions chaudes, a reçu le premier prix de l'Union régionale des ingénieurs et des scientifiques du Languedoc-Roussillon (Uris-LR) pour son étude *Les producteurs face aux normes pour l'exportation d'ananas dans la région Huetar Norte au Costa Rica*.

Dans le secteur des plantes ornementales, des itinéraires techniques ont été définis afin de produire une qualité standard qui pourra être exportée vers les Etats-Unis et l'Europe.
© G. Faure/Cirad

2005 et 2006. Elles ont permis d'analyser les expériences réussies d'insertion au marché et de développer des projets économiques. Ces rencontres ont également été l'occasion d'évaluer, de manière collective, les démarches mises en œuvre par l'ensemble des institutions pour soutenir les organisations. Elles ont débouché sur un congrès national, qui a rassemblé plus de 200 organisations, pour établir une synthèse des résultats et élaborer une stratégie nationale de renforcement des organisations de producteurs.

Stratégie nationale et services aux producteurs

En 2007, dans le cadre d'un projet financé par la Banque mondiale, deux thèmes ont été abordés en réponse à des demandes émanant d'organisations de producteurs. Le premier concernait un collectif d'organisations nationales qui cherchait à approfondir la stratégie nationale sur la base d'une analyse de thèmes d'intérêt commun, comme les banques de développement, la réglementation de l'usage de l'eau, les dispositifs d'appui aux petites et moyennes entreprises. Il s'agissait également de comprendre comment certaines organisations avaient pu participer à la construction de politiques publiques en établissant un dialogue avec le gouvernement et en nouant des alliances stratégiques. Un atelier réunissant une quinzaine d'organisations nationales s'est tenu en novembre 2007, en présence du ministre de l'Agriculture, pour favoriser les échanges entre représentants des producteurs et gouvernement et pour envisager des mesures d'accompagnement pour le traité de libre-échange signé avec les Etats-Unis.

Le second thème avait trait à l'amélioration des services aux producteurs : formation, conseil, crédit, intrants, certification, montage de projets, renforcement organisationnel. La demande est forte car les nouvelles opportunités du marché font apparaître des besoins nouveaux, et le

retrait de l'Etat incite à imaginer d'autres modalités pour fournir ces services. Des études de cas ont permis de dresser un premier bilan : elles montrent que la demande et l'offre sont des construits sociaux spécifiques à chaque situation et que le marché est rarement le mécanisme de coordination entre ces deux facteurs. Les acteurs imaginent d'autres modalités d'intervention, où les organisations de producteurs jouent un rôle croissant dans le domaine des services, soit en les fournissant directement, soit en assurant une coordination entre prestataires de services.

Parallèlement à ces études, un centre de services a vu le jour dans la région de Huetar Norte. Il est géré par une association de jeunes ruraux et fournit une aide aux organisations émergentes dans les domaines de la gestion, la recherche de marchés et le montage de projets. Plusieurs jeunes conseillers viennent d'être recrutés pour intervenir dans le cadre de financements durables sur des projets de nature économique.

Contacts > Guy Faure, unité Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (UMR Innovation), Jean-François Le Coq, unité Actions collectives, politiques et marchés, guy.faure@cirad.fr

Bibliographie

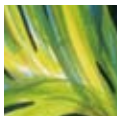
Faure G., Hocdé H., Meneses D., 2007. Réflexions sur une démarche de recherche-action : les organisations paysannes du Costa Rica construisent leur vision de l'agriculture familiale. *Cahiers Agricultures*, 16 : 205-211.

Faure G., Le Coq J.F., Bouquet E., Rebuffel P., Pesche D., Wampfler B., 2007. Global service framework to family farms and rural households: an insight from CIRAD. *In* : Réunion de Neuchâtel, 27-29 novembre 2007, Montpellier, France.

Faure G., Maître D'hotel E., Le Coq J.F., Saenz F., 2007. Can supply chain's coordination mechanisms include small holders? Insight from an empirical work in Costa Rica. *In* : 106th EAAE seminar, Montpellier, France, 25-27 octobre 2007, 21 p.

Maître D'hotel E., 2007. Participation et adaptation des organisations au changement institutionnel : les organisations agricoles au Costa Rica face aux politiques de libéralisation. Thèse, SupAgro, Montpellier.





Des contrats pour mieux vendre le lait

En Afrique de l'Ouest, le lait de brousse est très peu valorisé par les industries laitières, et fortement concurrencé par la poudre de lait importée. Pour comprendre ces mécanismes d'exclusion marchande, le Cirad et ses partenaires ont analysé les arrangements institutionnels qui fondent les contrats de collecte en zone rurale, notamment autour des minilaiteries artisanales. Ces travaux permettent de réinterpréter les échecs qu'ont connus les tentatives de mise en place d'une collecte industrielle.

●●●●● **Au Sahel, le lait illustre bien les difficultés** du monde rural face au développement de l'économie de marché. Dans les villages et les campements, la traite rythme les journées, et le précieux liquide est consommé et échangé au sein de la famille. Abondant en saison des pluies, il est aussi vendu localement sous forme de beurre ou de lait caillé. Pourtant, le lait de brousse ne représente qu'une faible part des produits laitiers consommés en ville. Et c'est essentiellement la poudre de lait importée qui envahit les marchés urbains et approvisionne les laiteries industrielles. Les pasteurs et agropasteurs africains sont donc pour une large part exclus des dynamiques d'industrialisation en cours. Pour comprendre ce paradoxe, des chercheurs du Cirad, en partenariat étroit avec des équipes de la région, ont étudié les relations complexes qu'entretiennent producteurs et marchés urbains.

Un produit fragile et saisonnier aux débouchés incertains

Produit fragile et saisonnier, le lait n'est pas facile à commercialiser. Seuls le beurre fondu et le lait caillé, qui se conservent bien, sont vendus sur les marchés hebdomadaires, généralement par les femmes. Ces produits fabriqués à la ferme ne font pas l'objet d'une valorisation industrielle. Les tentatives de collecte du lait pour les unités de transformation, qui permettrait aux producteurs d'avoir accès à des marchés sécurisés, se sont généralement soldées par des échecs.

Dans les capitales, l'importation de poudre de lait à bas prix a permis l'essor d'une industrie

urbaine. Cette industrie n'est jamais parvenue à organiser la collecte du lait local. Un échec imputable, entre autres, à l'absence de valorisation de l'origine fermière du produit, à l'éloignement des zones rurales, qui n'a pas facilité la mise en place des dispositifs contractuels, mais aussi à une vision « techniciste » de la collecte, qui ne tenait pas assez compte des stratégies des producteurs censés livrer leur lait aux camions.

Jusqu'au début des années 1990, les monopoles laitiers industriels avaient freiné l'émergence des systèmes privés de collecte. Après la libéralisation du secteur, de petites unités de ramassage et de traitement du lait de brousse sont apparues à la périphérie des villes secondaires. Elles ont progressivement occupé un segment de marché porteur : celui du lait fermenté en sachet fabriqué à base de lait local. Elles s'approvisionnent en lait de brousse grâce à des livreurs à vélo ou à mobylette.

Des contrats qui sécurisent les transactions

Comme le montre l'étude des relations entre éleveurs et minilaiteries, la collecte ne peut se résumer à l'achat et au transport du produit. Elle doit s'accompagner d'une sécurisation de la transaction par différents arrangements institutionnels : accords ou conventions sur les prix et sur la qualité, contrats incluant des avances de trésorerie ou d'intrants, réseaux personnels garantissant la confiance. Ces mécanismes de coordination, qui permettent de pallier les incertitudes sur les transactions, expliquent le succès de certaines

Partenaires

Institut d'économie rurale (IER, Mali), Institut sénégalais des recherches agricoles (Isra, Sénégal), Réseau de recherche sur les politiques laitières (Repol), SupAgro Montpellier (France). Ces recherches ont bénéficié de financements du Coraf et de la Coopération française.

entreprises comme les minilaiteries artisanales, qui se créent actuellement dans plusieurs localités secondaires d'Afrique de l'Ouest.

Les contrats de collecte entre les éleveurs et ces minilaiteries permettent de sécuriser les débouchés laitiers. Pour les éleveurs, cette situation se traduit par une modification de leur système d'exploitation. L'accès aux intrants alimentaires entraîne, notamment, une augmentation du rendement laitier par vache. L'utilisation de graines de coton, de tourteaux ou d'aliments concentrés permet de compléter les animaux en lactation. Les avances de trésorerie et la mensualisation du paiement du lait couvrent de nouveaux types de dépenses. Parallèlement, les réseaux de collecte du lait fournissent des emplois : livreurs à vélo, employés dans les minilaiteries.

Aujourd'hui, l'impact des minilaiteries est nettement positif : elles fournissent des revenus importants autour des villes secondaires et constituent un modèle technico-économique facilement reproductible. Leur dynamique paraît, cependant, limitée par leur faible capacité de collecte — entre 200 et 1 000 litres par jour — et par leurs difficultés à pénétrer les marchés des grandes capitales. Parallèlement, des industries laitières d'un type nouveau voient le jour en Mauritanie, au Sénégal, au Mali et au Niger. Leur stratégie repose sur la collecte locale, grâce à la mise en place de contrats similaires.

Les contrats de collecte entre les éleveurs et les minilaiteries permettent de sécuriser les débouchés laitiers : un collecteur recueille le lait de la traite du matin dans la région de Kolda, au Sénégal.

© G. Duteurtre/Cirad



De nouveaux espoirs pour les filières laitières

Le contexte international semble offrir une nouvelle chance à ces expériences de collecte industrielle. En effet, alors que jusqu'au début des années 2000 les accords internationaux avaient accentué la concurrence de la poudre de lait, le doublement du prix de la poudre entre 2006 et 2007 a renversé la tendance. Aujourd'hui, le lait, abondant dans les campagnes, est encore trop rarement utilisé par les industries. Il semble donc indispensable d'instaurer des politiques sectorielles visant à renforcer la structuration des filières locales. Elles devront s'inspirer du modèle contractuel des minilaiteries et des nouvelles industries laitières rurales, et s'appuyer sur des politiques fiscales et commerciales adaptées.

Plusieurs ateliers nationaux, organisés au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal, ont permis de valider ces résultats. Les participants ont insisté sur le fait qu'il était urgent de sécuriser les débouchés pour dynamiser la production laitière locale.

Contact > Guillaume Duteurtre, unité Système d'élevage et produits animaux, guillaume.duteurtre@cirad.fr

Bibliographie

Corniaux C., Duteurtre G., Dieye P.N., Pocard-Chapuis R., 2006. Les minilaiteries comme modèle d'organisation des filières laitières en Afrique de l'Ouest : succès et limites. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 58 : 237-243.

Dia D., Duteurtre G., Dieye P.N., 2007. Le rôle de l'élevage dans la lutte contre la pauvreté : l'exemple des filières laitières locales au Sénégal. *In* : Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l'Ouest. Mbaye A. et al. (éd.). Dakar, Crea, p. 103-118.

Dieye P.N., 2006. Arrangements contractuels et performances des marchés du lait local au sud du Sénégal : les petites entreprises de transformation face aux incertitudes de l'approvisionnement. Thèse de doctorat, SupAgro, Montpellier, 211 p.

Site

www.repol.info

Accompagner les transformations des espaces ruraux



Olympe, un logiciel d'aide à la décision pour les exploitations agricoles

La diversité des systèmes de culture se traduit par des exploitations aux performances agroéconomiques hétérogènes. Pour mieux comprendre les stratégies des agriculteurs et mieux les conseiller, il est indispensable d'évaluer, dans les contextes socio-économiques et agroécologiques les plus divers, les performances des systèmes, existants ou innovants. Le logiciel Olympe, adapté par le Cirad aux spécificités de l'agriculture de plantation des régions tropicales, permet de simuler le fonctionnement de ces systèmes et d'en déterminer les potentialités.

●●●●● Dans le cadre de l'aide à la décision, la description du fonctionnement technico-économique des exploitations agricoles s'élabore autour de trois questions : quels sont les déterminants des choix des producteurs ? Quel outil peut-on utiliser pour modéliser les systèmes de production à l'échelle du système de culture comme à celle de la région ? Sur quels outils, de type logiciel d'aide à la décision, s'appuyer pour proposer des solutions techniques et économiques qui conviennent aux agriculteurs et aux décideurs concernés ?

Pour répondre à ces questions, les chercheurs, les conseillers et les agriculteurs ont à leur disposition le logiciel Olympe. Créé par l'Inra pour les exploitations agricoles françaises, il a été adapté, par le Cirad entre autres, aux contextes variés des pays du Sud, en particulier aux exploitations cultivant des plantes pérennes, comme l'hévéa, le caféier, le cacaoyer et le palmier à huile.

Avec Olympe, il est possible de simuler le fonctionnement technico-économique d'une ou de plusieurs exploitations agricoles et de tester la validité d'itinéraires techniques en expérimentation. Olympe permet de comparer le potentiel des exploitations et les risques liés aux innovations économiques et écologiques testées, mais aussi de proposer des solutions technico-économiques dans un contexte d'échanges directs avec les agriculteurs.



La page d'accueil du site Olympe. © Cirad

Olympe est largement utilisé par les chercheurs du Cirad et leurs partenaires en Afrique, à Madagascar et en Asie, par exemple pour évaluer les choix techniques dans les systèmes à base de caféiers, de cacaoyers et de palmiers à huile, pour comparer des ensembles d'exploitations dont le cacaoyer et l'hévéa sont les productions principales, pour simuler le fonctionnement d'exploitations face à des contraintes régionales (périmètres irrigués, phénomènes d'érosion...) et, enfin, pour effectuer des analyses prospectives de gestion des risques.

Mais Olympe n'est pas seulement un logiciel, c'est aussi un réseau international de recherche et de développement animé par le Cirad, qui s'est créé autour de la méthodologie d'analyse économique et d'aide à la décision proposée par Olympe. Il a pour objectif le transfert des pratiques et la diffusion des connaissances : for-

Partenaires

Bureau technique de promotion laitière (BTPL, France), Ecole supérieure d'ingénieurs et techniciens pour l'agriculture (Esitpa, France), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Institut agronomique méditerranéen de Montpellier (IAMM, France), Institut de recherche pour le développement (IRD, France), Wageningen University and Research Centre (Pays-Bas).

mation des chercheurs, agents du développement, agriculteurs, étudiants ; partage d'expériences et développement du logiciel ; animation de séminaires internationaux ; publication de résultats illustrant des problématiques diversifiées.

Contact > Didier Snoeck, unité Performance des systèmes de culture des plantes pérennes, didier.snoeck@cirad.fr

Site

www.olympo-project.net

Bibliographie

Deheuvels O., Dubois A., Somarriba E., Malézieux E., 2007. Farmers' management and restoration of cocoa agroforestry systems in Central America: the role of the associated trees in the restoration process. *In* : Agroforestry systems with perennial crops, 17-21 septembre 2007, Turrialba, Costa Rica.

Glatard F., Enjalric F., Jagoret P., 2007. Characterization and assessment of cocoa based agroforestry cropping systems in Cameroun according to site conditions and fertility management. *In* : Agroforestry systems

with perennial crops, 17-21 septembre 2007, Turrialba, Costa Rica.

Ollivier J., Enjalric F., 2007. Des agrosystèmes performants à base de cocotier : une réponse aux attentes des planteurs. *In* : Palmier à huile, cocotier. Montpellier, Cirad, 26 p.

Penot E., Deheuvels O. (éd.), 2007. Modélisation économique des exploitations agricoles : modélisation, simulation et aide à la décision avec le logiciel Olympe. Paris, L'Harmattan, 182 p.



Olympe a été adapté aux contextes variés des pays du Sud, en particulier aux exploitations cultivant des plantes pérennes, comme le cacao. © C. Lanaud/Cirad



L'agriculture au service du développement : le nouveau rapport de la Banque mondiale

Banque mondiale, 2007. World development report 2008: agriculture for development. Washington, Banque mondiale, 384 p.

Mercoiret M.R., Pesche D., Bosc P.M., 2007. Les organisations paysannes et rurales pour un développement durable en faveur des pauvres : compte-rendu de l'atelier de Paris, 30-31 octobre 2006. Montpellier, Cirad, 45 p.

<http://www.banquemondiale.org/rdm2008>

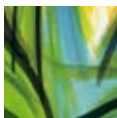
Le Rapport sur le développement dans le monde 2008 de la Banque mondiale préconise d'investir davantage dans l'agriculture et de placer ce secteur au centre des efforts de développement pour atteindre d'ici 2015 l'un des objectifs du millénaire : réduire de moitié la proportion de la population qui vit dans une extrême pauvreté. Le Cirad, qui a participé indirectement à sa rédaction, s'est plus particulièrement intéressé aux organisations paysannes et au commerce équitable.

L'émergence des organisations paysannes est l'un des changements majeurs de ces vingt dernières années dans le secteur agricole des pays du Sud. Les organisations paysannes y sont désormais des acteurs à part entière, qui pèsent sur les décisions et peuvent, dans certains pays, s'exprimer dans le champ politique. Lors de la préparation du rapport, le Cirad a animé, en octobre 2006, un atelier intitulé « Les organisations

paysannes et rurales pour un développement durable en faveur des pauvres », qui a permis à une vingtaine de représentants d'organisations de producteurs issus de trois continents de débattre de cette question.

Le mouvement du commerce équitable, quant à lui, a connu une forte croissance durant la dernière décennie. Cette dynamique, de plus en plus manifeste sur les marchés européens et américains, peut dès à présent être jugée sur ses performances et son avenir, apprécié selon trois scénarios : l'intégration réussie sur les marchés, la stabilisation en tant que marché de niche, la dissolution du mouvement sous sa forme actuelle en raison d'un défaut de clarté dans sa définition et dans son image.

Contact > Denis Pesche, unité Actions collectives, politiques et marchés, denis.pesche@cirad.fr



Concevoir des itinéraires techniques innovants à dire d'experts

Dans un contexte macroéconomique incertain, l'agriculture est soumise à des exigences sociétales complexes qu'elle peut satisfaire en adaptant rapidement ses modes de production. Cette adaptation n'est possible que si les agriculteurs et les décideurs disposent de solutions mises au point à la demande, dans le cadre d'une approche intégrée. C'est pour répondre à cet enjeu que la méthode de prototypage d'itinéraires techniques a été mise au point par le Cirad et ses partenaires.

●●●●● Sous l'effet d'une utilisation parcimonieuse

des facteurs de production et de la multiplication des critères d'évaluation, les modes de production tendent à se diversifier. Les nouveaux objectifs de développement durable imposent, au Nord comme au Sud, une productivité accrue par unité de ressource disponible, pour aboutir à des modes de production qui soient plus économes au Nord et mieux adaptés aux contraintes locales au Sud. Dans ce contexte, l'agriculture est soumise à des exigences sociétales complexes qu'elle peut satisfaire en adaptant rapidement ses modes de production. Cette adaptation à des enjeux complexes repose sur des solutions mises au point à la demande, dans le cadre d'une approche intégrée. Par leurs connaissances et leurs savoir-faire, les scientifiques et les praticiens peuvent-ils contribuer à ce défi et élaborer des itinéraires techniques innovants ?

Partenaires

Institut d'économie rurale (IER, Mali), Institut de recherche agricole pour le développement (Irad, Cameroun), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Institut national des recherches agricoles du Bénin (Inrab, Bénin), SupAgro Montpellier (France).

C'est pour répondre à cette question que la méthode de prototypage d'itinéraires techniques a été conçue et appliquée, par des chercheurs du Cirad et leurs partenaires, au Bénin, au Cameroun et au Mali. Cette méthode, participative et pluridisciplinaire, vise à produire des itinéraires techniques qui répondent à des combinaisons particulières de contraintes et d'opportunités de production ou de commercialisation. Elle comprend quatre étapes : diagnostic et définition d'un cahier des charges, élaboration du prototype, évaluation et ajustement en station, évaluation et ajustement chez les agriculteurs. Les solutions proposées sont évaluées du point de vue agronomique, économique et environnemental.

De 2001 à 2006, les trois premières étapes de la méthode ont été validées. Elles ont, par exemple, permis de concevoir et d'évaluer les performances d'un itinéraire technique de culture cotonnière destiné aux semis tardifs, qui offre de meilleures performances que l'itinéraire standard. L'itinéraire conçu par les experts, chercheurs ou vulgarisateurs, inclut de nouvelles variétés plus précoces, une densité de semis plus forte, des doses d'engrais réduites, un contrôle raisonné des insectes, l'utilisation d'herbicides et de régulateurs de croissance. Testé en station de recherche pendant deux ans, cet itinéraire a donné de bons résultats dans les conditions de semis les plus tardives. Il a même permis d'accroître la marge brute de la culture de 20 à 35 % et la productivité du travail de 5 à 20 %. Plus généralement, ces résultats démontrent l'intérêt d'aborder les questions de recherche finalisée, comme la mise au point rapide d'itinéraires techniques, en associant des chercheurs et des experts dont les compétences et les manières

Un exemple de commande d'itinéraire technique

Un petit producteur de coton a une exploitation en région soudano-sahélienne, où l'unique saison des pluies dure cinq mois, entre mai et octobre. Dans cette zone, les principaux ravageurs de la culture sont deux insectes piqueurs-suceurs, *Empoasca minor* et *Aphis gossypii*, et deux chenilles de la capsule, *Helicoverpa armigera* et *Spodoptera littoralis*. La maladie principale est la bactériose (*Xanthomonas malvacearum*). Ce producteur est obligé de retarder le semis de certaines parcelles en raison de pics de travail en début de campagne. De ce fait, il espère cultiver une parcelle de coton semé tardivement sur un terrain sableux et en dégager un profit. Il peut disposer des intrants nécessaires — semence, engrais, produits phytosanitaires — et il est assuré de vendre toute sa production de coton graine au prix fixé par les usines d'égrenage locales. Toutefois, il fait face à une relative rareté de la main-d'œuvre aux périodes critiques, en particulier lors du semis et de la récolte. Dans ces conditions, les interventions techniques doivent essentiellement favoriser la levée, la mise en place et le développement rapide du couvert végétal et de la production, une protection optimale mais raisonnée des premières capsules contre les chenilles déprédatrices et, enfin, une ouverture des capsules précoce et groupée.

La méthode de prototypage d'itinéraires techniques a permis de concevoir et d'évaluer les performances d'un itinéraire technique de culture cotonnière destiné aux semis tardifs.

© J.Y. Jamin/Cirad



d'aborder l'agriculture sont à la fois variées et complémentaires.

Des améliorations sont encore nécessaires pour préserver l'environnement : utilisation de variétés précoces, règles plus précises et mieux adaptées aux conditions africaines pour l'application des insecticides et des régulateurs de croissance. En montrant aussi les limites des itinéraires techniques conçus par les experts, l'expérimentation au champ définit de nouvelles orientations pour les travaux de recherche.

Contact > Jacques Lançon, unité Systèmes de culture annuels, jacques.lancon@cirad.fr

Bibliographie

Lançon J. *et al.*, 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 27 : 101-110.

Rapidel B., Defèche C., Traoré B., Lançon J., Wery J., 2006. In field development of a conceptual crop functioning and management model: A case study on cotton in southern Mali. *European Journal of Agronomy*, 24 : 304-315.

Rapidel B., Traoré B.S., Sissoko F., Lançon J., Wery J., 2008. Application of the prototyping approach to design and assess cotton management systems in Mali. *Agronomy for Sustainable Development (soumis)*.

Sêkloka E., Lançon J., Gozé E., Hau B., Lewicki S., Thomas G., 2008. Breeding new cotton varieties to fit the diversity of cropping conditions in Africa: effect of plant architecture, earliness and effective flowering time on late-planted cotton productivity. *Experimental Agriculture*, 44 (*sous presse*).



Etats fragiles : genèse d'un consensus international

En 2005, à la suite de deux réunions de haut niveau des appareils d'aide, la notion d'Etats fragiles est devenue une notion structurante des politiques d'aide des pays de l'OCDE, Organisation de coopération et de développement économiques, et de la Banque mondiale. L'élaboration de cette notion s'inscrit dans le prolongement d'efforts engagés à partir du début du nouveau millénaire pour identifier, ou distinguer, un ensemble de pays potentiellement bénéficiaires de l'aide mais ne pouvant répondre aux principes aujourd'hui prédominants : responsabilité (*ownership*) et partenariat dans l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique de lutte contre la pauvreté. Il s'agissait donc d'abord de définir, pour ces pays « non conformes », des modalités particulières d'intervention des agences d'aide afin de permettre à celles-ci de poursuivre leur objectif de réduction de la pauvreté. Le consensus construit autour de la notion d'Etats fragiles signale une inflexion sensible des stratégies des agences. Désormais, à côté de la lutte contre la pauvreté, la capacité des Etats à assurer la loi et l'ordre devient un objectif en soi.

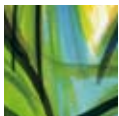
Un ouvrage pluridisciplinaire, *Etats et sociétés fragiles : entre conflit, reconstruction et développement*, rassem-

ble des contributeurs venus d'horizons très divers, dont les travaux soulignent la complexité de ce nouveau champ de la réflexion et de l'action internationales, au croisement de l'après-11 septembre et d'évolutions théoriques fondamentales sur les liens entre « sécurité » et développement. Il présente, entre autres, les travaux de chercheurs du Cirad sur la genèse d'un consensus international autour de cette notion. En s'appuyant sur une analyse de l'évolution des débats, d'abord au Comité d'aide au développement de l'OCDE puis aux Etats-Unis, au Royaume-Uni et enfin à la Banque mondiale, ils tentent de clarifier la notion d'Etats fragiles et d'évaluer l'étendue du consensus international récent et ses implications pour les politiques des donateurs. Ils discutent ensuite de trois « problèmes » qu'ont rencontrés les agences d'aide, et à la « confluence » desquels se situe la notion d'Etats fragiles : l'efficacité de l'aide, la question sécuritaire post-11 septembre 2001 et enfin les donateurs émergents (Chine, Brésil, Inde).

Contact > Benoit Daviron, unité Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs (UMR Moisa), benoit.daviron@cirad.fr

Châtaigner J.M., Magro H. (éd.), 2007. *Etats et sociétés fragiles : entre conflit, reconstruction et développement*. Paris, Karthala, 566 p.

Daviron B., Giordano T., 2007. *Etats fragiles : genèse d'un consensus international*. In : *Etats et sociétés fragiles : entre conflit, reconstruction et développement*. Châtaigner J.M., Magro H. (éd.). Paris, Karthala, p. 23-40



Gamede : un modèle global pour le fonctionnement de l'exploitation

L'élevage bovin occupe une place essentielle dans les pays en développement, mais il est aussi à l'origine de nuisances : perte de biodiversité, pollution, émission de gaz à effet de serre. Si ces nuisances découlent souvent de la concentration des élevages, elles dépendent aussi des modes d'exploitation au quotidien. Pour la recherche comme pour les professionnels, il apparaît donc indispensable de disposer de représentations qui intègrent l'ensemble des décisions prises quotidiennement par l'éleveur. En s'appuyant sur l'exemple d'élevages laitiers réunionnais, le Cirad a construit un tel modèle. Il décrit toutes les activités d'une exploitation et tous les flux qu'elle engendre.

●●●●● **Tant pour ses fonctions de production** que pour son rôle dans l'épargne et le crédit, la fourniture de matière organique ou la traction indispensable aux cultures, l'animal occupe une place essentielle dans l'agriculture des pays en développement. Mais l'élevage bovin est aussi à l'origine de multiples atteintes à l'environnement : perte de biodiversité, pollution de l'air et des eaux, émissions directes ou indirectes de gaz à effet de serre. L'importance de ces agressions découle souvent de la concentration des exploitations à l'échelle des territoires, elle dépend aussi des modes d'exploitation au quotidien. Ainsi, les

excédents azotés rejetés dans le milieu sont, par exemple, directement liés aux pratiques d'élevage et leur impact sur l'environnement varie considérablement selon le mode d'exploitation. Pour la recherche comme pour les professionnels de l'élevage, il est important de disposer d'un modèle de représentation des décisions prises quotidiennement par l'éleveur pour la conduite de son exploitation et de leurs conséquences sur le fonctionnement global de l'exploitation et sur ses performances techniques et environnementales. En s'appuyant sur l'exemple d'exploitations laitières à la Réunion, un modèle dynamique de flux a été construit : Gamede*. Il décrit en détail toutes les activités d'une exploitation bovine laitière et tous les flux de biomasse et d'azote, tant au sein de l'exploitation qu'entre elle et son environnement.

Une exploitation laitière de la plaine des Cafres, à la Réunion.
© J. Vayssières/Cirad



Un système complexe à gérer et à modéliser

L'exploitation laitière est certainement le système le plus complexe à conduire et donc à modéliser. Elle peut apparaître comme un ensemble de stocks reliés par des flux de biomasse de nature diverse (animaux, lait, effluents, fourrages...). Certains flux résultent d'actions délibérées de l'éleveur : ce sont les « flux actionnables ». D'autres découlent de processus biophysiques naturels, qui ne lui sont pas directement accessibles : ce sont les « flux biophysiques ».

Partenaires

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe, France),
Association réunionnaise interprofessionnelle du bétail, de la viande et du lait (Aribev, France),
Fédération régionale des coopératives agricoles de la Réunion (FRCA, France), Sicalait (France), SupAgro (France).
Ces résultats s'inscrivent également dans les programmes ANR-ADD Spadd et Discotech.

Autour des actions quotidiennes de l'exploitant, le modèle Gamede articule un système décisionnel, qui simule la réalisation de 19 opérations, à un système biophysique complexe, constitué de 6 modules représentant des mécanismes biologiques tant animaux que végétaux. Pour parvenir à un tel niveau d'intégration, il a été nécessaire de miser sur la complémentarité entre disciplines et de revoir les approches de modélisation classiques.

Six éleveurs, représentatifs de la diversité des profils décisionnels rencontrés localement, ont étroitement participé à la conception du modèle. En s'inspirant de démarches ethnographiques, les recherches ont permis d'identifier l'ensemble des règles de décisions opérationnelles relatives à chacune des opérations techniques. Des suivis bimensuels ont ensuite été utilisés pour établir un référentiel concernant l'évolution, sur plusieurs années, de l'état des systèmes de production : stocks de fourrage, composition du troupeau, croissance de l'herbe sur les parcelles. Pour le système biophysique, il existait déjà des référentiels et des outils, mais il a fallu adapter ces modèles partiels au contexte local et les coupler pour construire un système biophysique global.

Gamede, un modèle qui représente l'exploitation laitière dans sa globalité

Gamede a été développé sous un système dynamique hybride. Ses variables d'entrée concernent la structure de l'exploitation (taille du troupeau, parcellaire), l'environnement agroclimatique de l'exploitation, la stratégie de l'éleveur décrite sous forme de règles de décision ainsi que les disponibilités saisonnières en intrants (fourrages, engrais organiques).

Son système décisionnel simule l'ensemble des activités quotidiennes de l'éleveur en fonction de ses règles de décision, de l'état du système de production et de son environnement. Le système biophysique traduit les actions techniques en flux actionnables et simule les flux biophysiques, tous deux déterminés par les conditions météorologiques quotidiennes. L'originalité de Gamede réside dans le fait qu'il simule de façon dynamique, à un pas de temps quotidien et sur plusieurs années, toutes les opérations de l'exploitation, l'état des

flux et celui des stocks de biomasse. Il a été validé en situations réelles, mais aussi en le confrontant à la perception des éleveurs, des chercheurs et des techniciens.

Actuellement, le modèle traduit les flux de biomasse en flux d'azote et calcule des indicateurs environnementaux (bilan et efficacité azotée), sociaux (temps de travail et d'astreinte) et techniques (productivité prairiale et laitière). Un module d'évaluation économique et un module de simulation des consommations d'énergie vont y être prochainement ajoutés.

Les perspectives d'application de Gamede sont multiples. Il permet d'évaluer avec les éleveurs les répercussions de choix techniques ou d'innovations qui pourraient être envisagées pour adapter les exploitations à l'évolution rapide du contexte agricole. Le cadre conceptuel du modèle est générique, moyennant un nouveau paramétrage et l'ajout éventuel de modules de culture, il est applicable à d'autres types d'élevage et à des contextes de forte intégration entre l'agriculture et l'élevage.

* Gamede : Global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises.

Contacts > Philippe Lecomte, Jonathan Vayssières, unité Systèmes d'élevage et produits animaux, philippe.lecomte@cirad.fr

Bibliographie

Vayssières J., Bocquier F., Lecomte P. Gamede, a global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises: interactive simulation of various management strategies. *Agricultural Systems (soumis)*.

Vayssières J., Guerrin F., Paillat J.M., Lecomte P. Gamede, a global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises: whole-farm dynamic model. *Agricultural Systems (soumis)*.

Vayssières J., Lecomte P., 2007. Modéliser les pratiques décisionnelles et les flux d'azote à l'échelle globale de l'exploitation : cas de l'élevage bovin laitier en contexte tropical insulaire. In : XIV^e congrès 3R : rencontres autour des recherches sur les ruminants, 5-6 décembre 2007, Paris, France. Paris : Institut de l'élevage, p. 45-48.

Vayssières J., Lecomte P., Guerrin F., Nidumolu U.B., 2007. Modelling farmers' action: decision rules capture methodology and formalisation structure: a case of biomass flow operations in dairy farms of a tropical island. *Animal*, 1 : 716-733.



Renouveler nos approches de l'exploitation agricole familiale

L'agriculture évolue sous l'effet des modifications de l'environnement et sous la pression des nouvelles exigences des marchés. Cette évolution entraîne des changements techniques et organisationnels au sein de l'exploitation agricole. Et un renouvellement de la recherche, qui doit désormais s'intéresser à l'ensemble des acteurs de ces nouveaux systèmes d'activités.

●●●●● Dans la plupart des pays du Sud, les exploitations agricoles familiales se trouvent confrontées à un environnement économique concurrentiel et à des normes de qualité imposées par les Etats ou la grande distribution. Elles doivent aussi s'adapter à la dégradation des conditions de production, liée au changement climatique, et au renchérissement des intrants, qui pèse sur les coûts de production. Le Cirad a mené, en Afrique subsaharienne, en Amérique centrale et au Maghreb, un ensemble de travaux sur la notion d'exploitation agricole, ses contours et ses relations avec les autres acteurs de la production.

La pluriactivité, une réponse à l'évolution de l'environnement

Pour s'adapter aux évolutions du contexte, principalement au manque de terre, les actifs familiaux optent de plus en plus pour la pluriactivité : commerce, artisanat, transformation de la production, petit élevage. Ces activités supposent, dans bien des cas, une migration temporaire ou un investissement dans des équipements non agricoles ; elles reposent sur la proximité des matières premières et des marchés. La pluriactivité est plus importante à la périphérie des villes, surtout dans les régions dont le potentiel de production est limité, comme le centre du Sénégal ou le plateau central au Burkina Faso. Inversement, dans les bassins de production qui dégagent encore des revenus agricoles substantiels et réguliers, les activités non agricoles sont moins fréquentes ou seulement présentes dans des exploitations spécifiques : dans le sud du Cameroun, certaines exploitations sont spécialisées dans la production d'huile rouge de palme. Ces activités non agricoles sont générale-

ment le fait d'initiatives individuelles et ne relèvent pas nécessairement du chef d'exploitation. Ces nouvelles formes d'organisation au sein de la famille, ou « systèmes d'activités », entraînent une réorganisation du travail et une réduction des capacités d'investissement dans l'exploitation, pour l'achat d'équipements ou de terres, par exemple. A ces systèmes sont associés des territoires d'activités dont les contours évoluent dans le temps. Ils correspondent à de nouvelles relations ville-campagne. Cette pluriactivité peut, selon les cas, dynamiser l'économie ou affecter les règles traditionnelles de gestion des territoires et des ressources naturelles. Les agriculteurs peuvent ainsi surexploiter les ressources en bois combustible pour leurs activités de transformation ou encore accélérer la mise en culture de zones humides pour y pratiquer le maraîchage sans mesurer les conséquences que ces activités peuvent avoir sur la biodiversité ou la qualité de l'eau.

S'adapter aux nouvelles exigences des marchés

De nouvelles formes d'organisation de la production émergent aussi lorsque les exploitations familiales s'intègrent dans des filières ou des circuits de commercialisation plus exigeants en termes de qualité et de régularité de la production. L'exploitation doit ajuster ses pratiques et remanier la gestion de son système de production. Mais cela ne suffit plus, et l'amélioration des performances passe souvent par des actions collectives, gérées par des organisations paysannes, intermédiaires entre les exploitations et l'acheteur-transformateur, qui prennent en charge la collecte primaire, contrôlent la qualité, veillent à l'étalement des

Partenaires

AgroParisTech (France), Ecole nationale de formation agronomique (Enfa, France), Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (IAV, Maroc), Institut national de la recherche agronomique (Inra, France), Pôle de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale (Prasac, Cameroun, République centrafricaine, Tchad), SupAgro Montpellier (France).



Pour s'adapter aux évolutions du contexte, principalement au manque de terre, les actifs familiaux optent de plus en plus pour la pluriactivité : commerce, artisanat, transformation de la production, petit élevage.

© P. Dugué/Cirad

semis... La plus-value ainsi générée peut être partagée entre tous les acteurs de la filière qui ont participé au processus. Le Cirad a réalisé des études afin d'améliorer la coordination entre ces différents acteurs, en intégrant des outils d'incitation, de contrôle mais aussi de conseil.

Ces résultats modifient la perception du monde rural et requièrent une adaptation de la recherche. Les dispositifs et les démarches d'appui-conseil aux producteurs doivent désormais inté-

grer l'ensemble des acteurs et non plus seulement les chefs d'exploitation : les jeunes et les femmes qui gèrent des activités spécifiques, les gestionnaires d'organisations paysannes et de périmètres irrigués, les responsables des agro-industries et de la grande distribution qui achètent les produits.

Enfin, la dualité de l'agriculture — exploitation familiale, entreprise capitaliste — devient une

réalité dans les pays du Sud. La recherche doit donc s'interroger sur les possibilités de développer des modes de coordination entre ces deux types de système de production, qui apparaissent le plus souvent en concurrence.

Contact > Patrick Dugué, unité Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (UMR Innovation), patrick.dugue@cirad.fr

Bibliographie

Chia E., Dugué P., 2006. L'exploitation agricole familiale : mythe ou réalité ? Cahiers agricultures, numéro spécial, 15.

Faure G., Veerabadren S., Hocdé H., 2008. L'agriculture familiale mise sous normes : jusqu'où les producteurs d'ananas du Costa Rica pourront-ils relever le défi ? Revue d'économie rurale (*sous presse*).

Gafsi M., Dugué P., Jamin J.Y., Brossier J. (éd.), 2007. Exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre : enjeux, caractéristiques et éléments de gestion. Paris, Quæ, collection Synthèses, 456 p.

Le Gal P.Y., Kuper M., Moulin C.H., Puillet L., Sraïri M.T., 2007. Dispositifs de coordination entre industriel, éleveurs et périmètre irrigué dans un bassin de collecte laitier au Maroc. Cahiers agricultures, 16 : 265-271.



Agroalimentaire et lutte contre la pauvreté en Afrique subsaharienne



Etal de poissons séchés au Ghana.
© E. Cros/Cirad

Sécurité alimentaire et lutte contre la pauvreté et les inégalités sont deux objectifs primordiaux de la coopération internationale pour le développement en Afrique subsaharienne. Les interventions qui en relèvent ne tiennent pas assez compte du rôle et du potentiel que représentent les micro- et petites entreprises agroalimentaires. Or, ces activités marchandes individuelles ou collectives, rurales et urbaines, se sont considérablement développées dans toutes les filières alimentaires. Elles fournissent aux citoyens, en particulier ceux à faible revenu, des produits adaptés à leur pouvoir d'achat, à leurs habitudes alimentaires et à leurs modes de vie. Elles représentent des milliers d'emplois, surtout pour les femmes, qui y valorisent leur savoir-faire. Leur

contribution aux revenus et aux capacités des ménages les plus pauvres est essentielle.

A partir d'une typologie du secteur et d'une grille d'analyse originales, l'ouvrage *Agroalimentaire et lutte contre la pauvreté en Afrique subsaharienne* analyse le rôle de ces entreprises dans la sécurité alimentaire et la réduction des inégalités, mais aussi leurs contraintes. Il formule des propositions pour une meilleure reconnaissance de ce secteur et propose des méthodes et des indicateurs pour expliciter les critères de lutte contre la pauvreté.

Contact > Nicolas Bricas, unité Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs (UMR Moisa), nicolas.bricas@cirad.fr

Broutin C., Bricas N., 2006. Agroalimentaire et lutte contre la pauvreté en Afrique subsaharienne. Paris, Gret, 128 p.

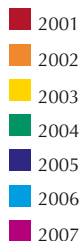
Le Cirad en bref



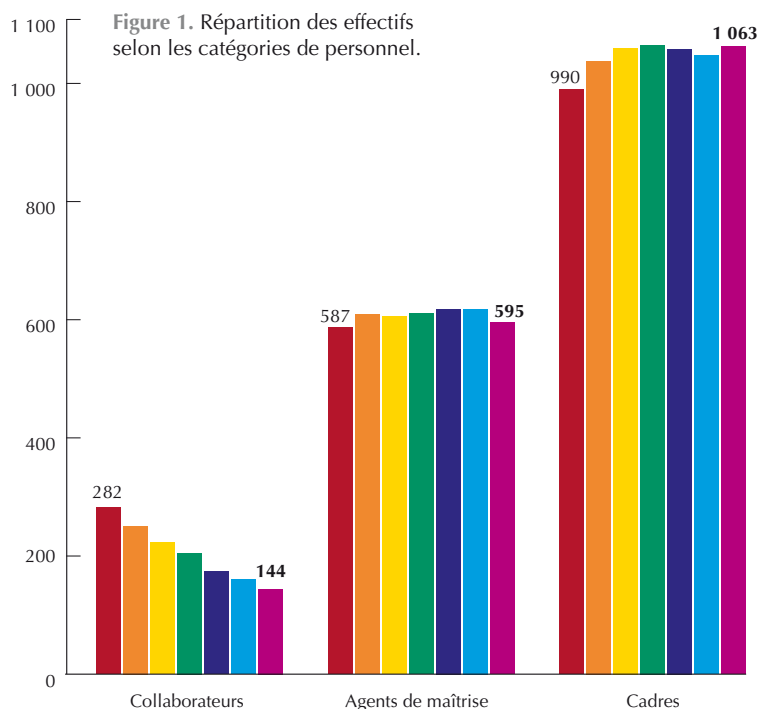
Les indicateurs

Trois éléments caractérisent les indicateurs en 2007 : leur périmètre, la méthode de renseignement, les résultats obtenus. S'agissant du périmètre, le Cirad a continué de travailler sur les indicateurs du contrat d'objectifs de la période 2001-2005. Le nouveau contrat d'objectifs, en cours de finalisation, va permettre dès 2008 d'introduire de nouveaux indicateurs. Le renseignement des indicateurs a été sécurisé et fiabilisé en 2007, notamment grâce au système d'information pour les ressources humaines. Les résultats obtenus sont cohérents avec la stratégie de recentrage scientifique du Cirad : augmentation de l'effectif des cadres scientifiques, du nombre d'habilitations à diriger des recherches et des publications dans les revues à facteur d'impact. La déclinaison d'une partie des indicateurs au niveau des unités de recherche et la contractualisation des objectifs avec leurs responsables devraient améliorer, dans les années à venir, la performance de l'établissement.

Les ressources humaines



L'effectif global du Cirad continue de décroître en 2007, passant de 1 825 à 1 802 agents, mais une rupture s'est produite par rapport à l'évolution des dernières années. En effet, la baisse des effectifs des cadres, qui à partir de 2004 avait succédé à la « relance stratégique », est enrayée. Passés de 990 en 2001 à 1 065 en 2004, les cadres n'étaient plus que 1 047 en 2006 ; en 2007, avec 1 063 agents, ils se retrouvent presque au niveau de 2004. Cette rupture est également nette, mais inverse, pour les agents de maîtrise. Alors que leurs effectifs n'avaient cessé de croître, passant de 587 en 2001 à 618 en 2006, ils connaissent, en 2007 et pour la première fois depuis six ans, une diminution avec 595 agents. Le nombre de collaborateurs continue de diminuer, mais de façon moins soutenue que précédemment (figure 1).



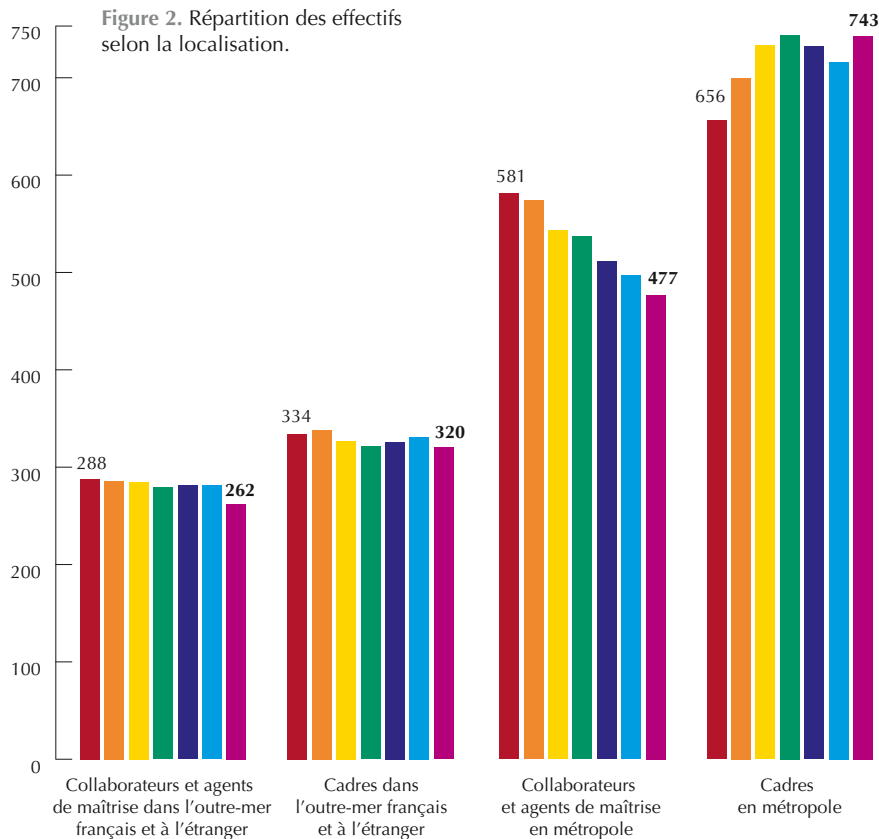
L'augmentation de l'effectif des cadres est sans lien avec la baisse de celui des agents de maîtrise. En effet, les promotions internes sont restées strictement au même niveau entre 2006 et 2007, et l'augmentation du nombre de cadres est uniquement due, en 2007, à l'amélioration du solde net entre les départs et les recrutements.

Les variations d'effectifs se répartissent de façon très différente sur le plan géographique. Le nombre des collaborateurs et des agents de maîtrise diminue de la même façon outre-mer et en métropole alors que, si l'effectif des cadres croît fortement en métropole, de 716 à 743, il diminue dans une moindre mesure hors métropole, en passant de 331 à 320. Cette diminution touche l'outre-mer français (- 6), l'Asie et l'Océanie (- 7) et l'Amérique latine (- 2). Dans le même temps, les effectifs augmentent légèrement en Afrique (+ 2) ainsi que dans les pays du Nord (+ 2) (figures 2 et 3).

Les missions évoluent sensiblement de la même façon que la répartition géographique des effectifs, avec une diminution significative en Asie, en Océanie et dans l'outre-mer français (figure 4).

L'augmentation du nombre de cadres concerne les cadres scientifiques, qui passent de 788 en 2006 à 808 en 2007. De plus, le Cirad bénéficie toujours de la collaboration de

Figure 2. Répartition des effectifs selon la localisation.



cadres associés, dont 10 sont mis à disposition par l'Inra et 11 par le ministère de l'Agriculture. Par ailleurs, l'organisme contribue à l'activité de 11 centres du GCRAI (Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale), où 25 chercheurs ont été affectés en 2007, soit 5 de plus qu'en 2006.

Le nombre de cadres originaires de l'Union européenne, après un très léger fléchissement en 2006, retrouve son niveau de 2005 avec 39 chercheurs. Globalement, le taux de chercheurs européens est stable, de 3,7 % depuis 2002, après les recrutements effectués pendant la période 2000-2002 (figure 5).

La tendance à la féminisation des cadres s'est poursuivie en 2007, le nombre de femmes cadres ayant atteint le chiffre de 300, ce qui représente 28,2 % de l'effectif total des cadres, contre 21,8 % en 2001 (figure 6).

Le nombre de docteurs et de chercheurs habilités à diriger des recherches suit l'évolution de l'effectif scientifique en 2007. En valeur relative, après la baisse de 2004, le taux de docteurs augmente pour la troisième année consécutive et atteint 50,9 %. Quant aux habilitations à diriger des recherches, elles progressent régulièrement et sont passées de 7,1 % en 2001 à 9,2 % en 2007 (tableau I).

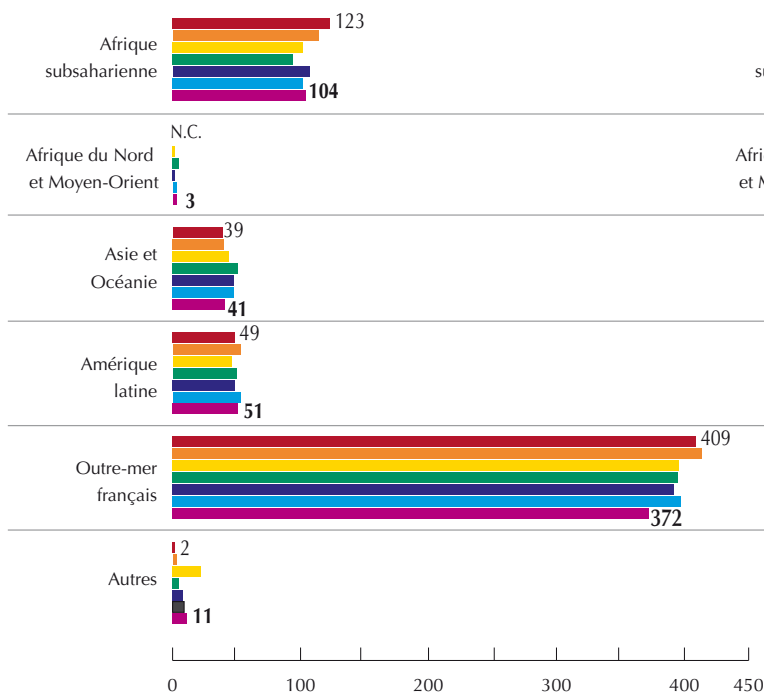


Figure 3. Répartition des effectifs en affectation.

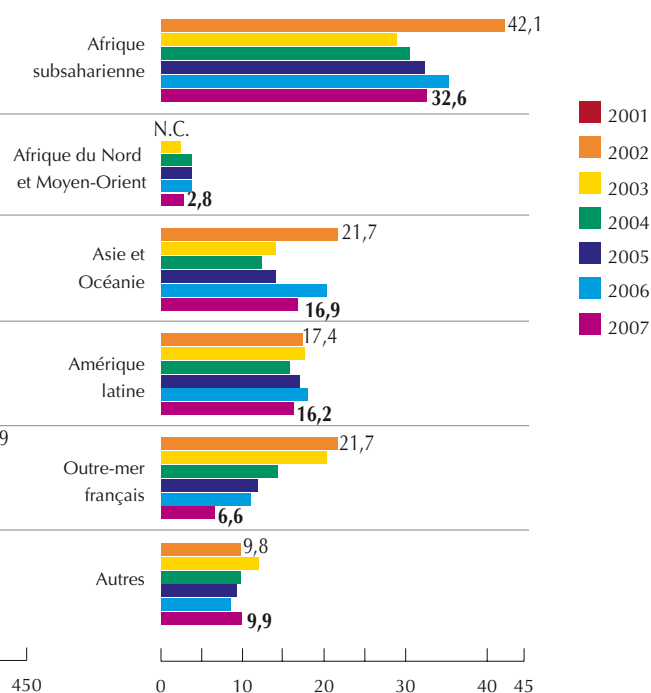


Figure 4. Répartition des missions selon la destination (en équivalent temps plein).

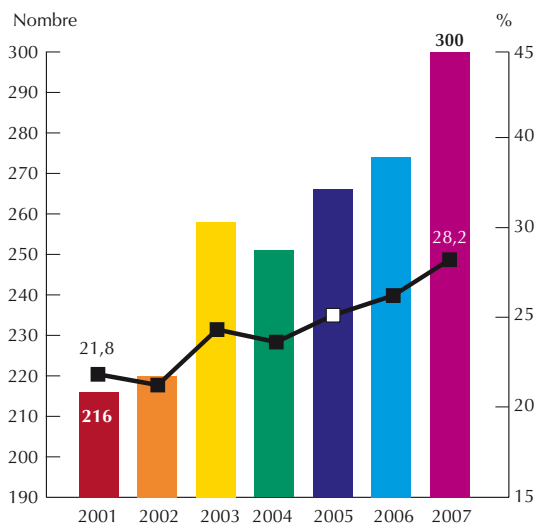
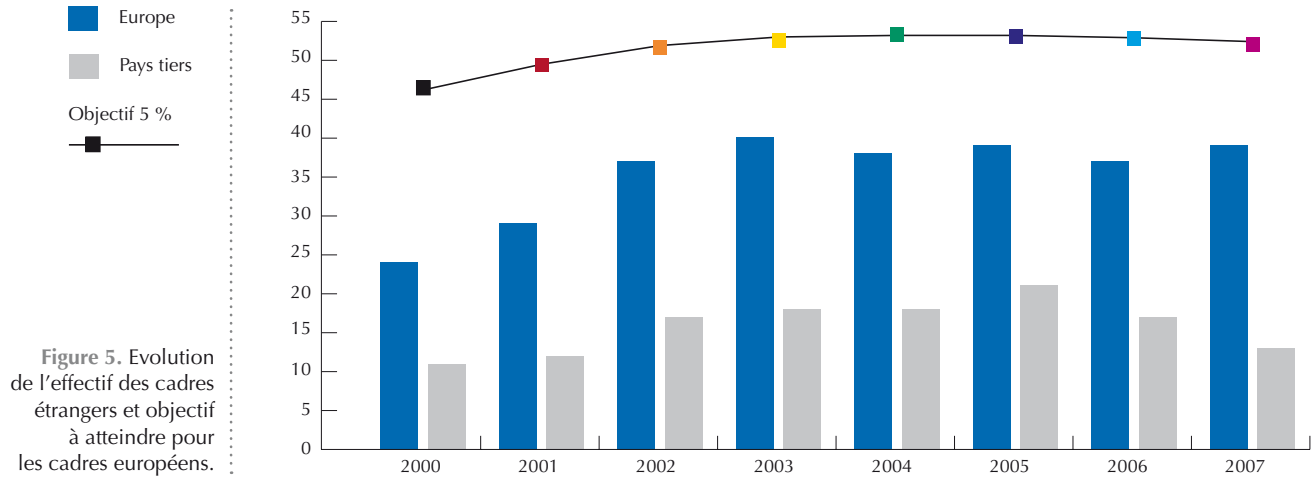


Figure 6. Evolution de l'effectif des femmes cadres.

Tableau I. L'évolution des compétences scientifiques de 2001 à 2007.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Cadres scientifiques	818	842	899	878	878	856	896
Docteurs							
nombre	408	419	465	439	436	430	456
pourcentage	49,9	49,8	51,7	50,0	49,7	50,2	50,9
Habiletés à diriger des recherches							
nombre	58	67	72	68	75	76	82
pourcentage	7,1	8,0	8,2	7,7	8,5	8,9	9,2

En 2007, le Cirad était associé à 22 unités mixtes de recherche, soit 2 de plus qu'en 2006. Le nombre de chercheurs présents dans ces unités a connu une forte croissance, passant de 200 à 285. Quatre unités regroupent la moitié des effectifs : il s'agit de Dap (58 chercheurs), Qualisud (47), Tétis (22) et Innovation (22). La proportion de chercheurs présents dans les unités mixtes de recherche est passée de 25 % en 2006 à 33 % en 2007 (figure 7).

La propriété intellectuelle

Le Cirad détient un portefeuille de 34 brevets, dont la moitié en copropriété avec au moins un partenaire. A la fin de 2007, il avait déposé 44 logiciels, 34 variétés végétales protégées par un certificat d'obtention (Cov), 10 marques, un dessin et modèle et un dossier technique secret.

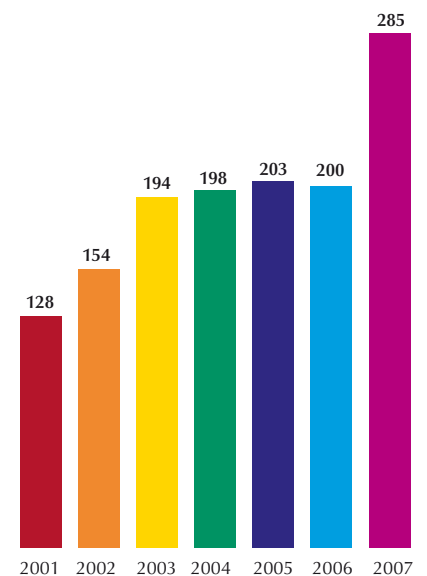


Figure 7. Evolution du nombre de scientifiques du Cirad dans les unités mixtes de recherche.

Les publications

Les données concernant les publications scientifiques et techniques sont extraites de la base de données bibliographiques Agritrop, base de référence du Cirad en matière de dépôt institutionnel des publications et rapports. En raison des délais de parution des documents, seules 50 à 70 % des publications de 2007 sont enregistrées au 31 janvier 2008. Ainsi, par convention, les indicateurs annuels retenus concernent à la fois les publications parues en 2006 et en 2007.

Le nombre total de publications (articles de périodiques, ouvrages, chapitres d'ouvrage, actes de congrès, communications et thèses) diminue depuis 2004. En revanche, le nombre d'articles de périodiques est en constante augmentation, avec une nette progression de ceux qui sont publiés dans les revues à facteur d'impact (figure 8).

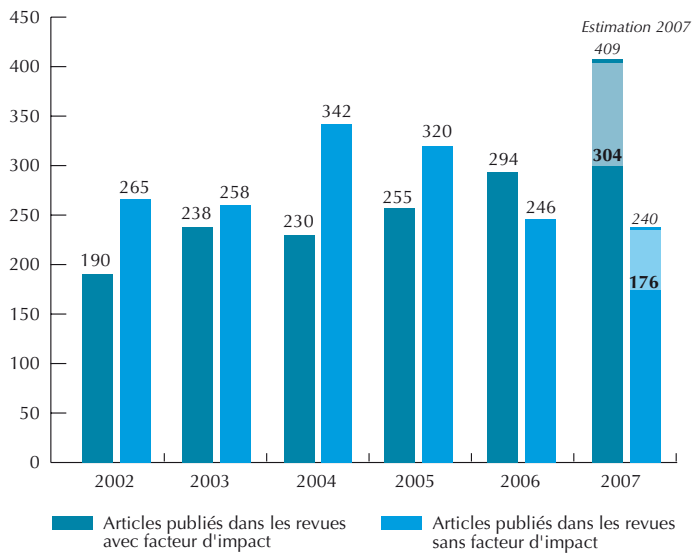


Figure 8. Evolution du nombre d'articles de périodiques.

Pour la période 2006-2007, les articles publiés dans les revues à facteur d'impact sont au nombre de 598, soit 27 % du nombre total des publications (figure 9). Parmi ceux-ci, 524 articles — soit 88 % du total des articles publiés dans les revues à facteur d'impact — sont publiés avec des coauteurs extérieurs au Cirad.

Ces coauteurs travaillent principalement en Europe (376 articles et 72 % des copublications) et en Afrique (155 articles et 30 % des copublications) (figure 10). Leur organisme de rattachement se situe principalement en France (62 % des copublications), aux Etats-Unis (6 %), au Brésil (5 %) et, à part égale, au Burkina Faso, au Sénégal et au Mali (4 %).

Les organismes de rattachement des coauteurs sont très diversifiés : instituts de recherche (68 %), universités (44 %), grandes écoles (11 %). Les instituts de recherche les mieux représentés dans ces copublications sont l'Inra, l'IRD, le CNRS, l'IER au Mali, l'Irad au Cameroun, le CNRA en Côte d'Ivoire et l'Isra au Sénégal.

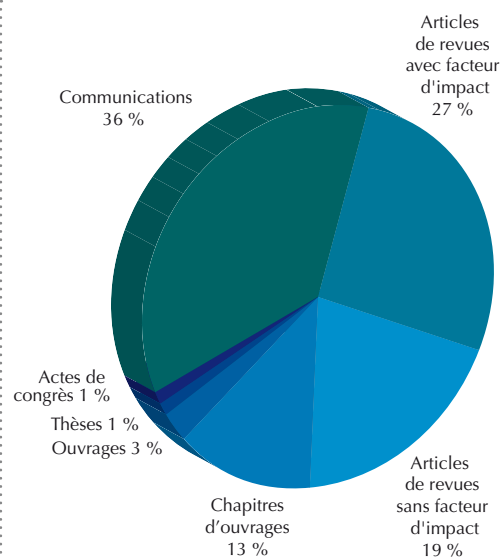


Figure 9. Répartition des publications selon le type de document.

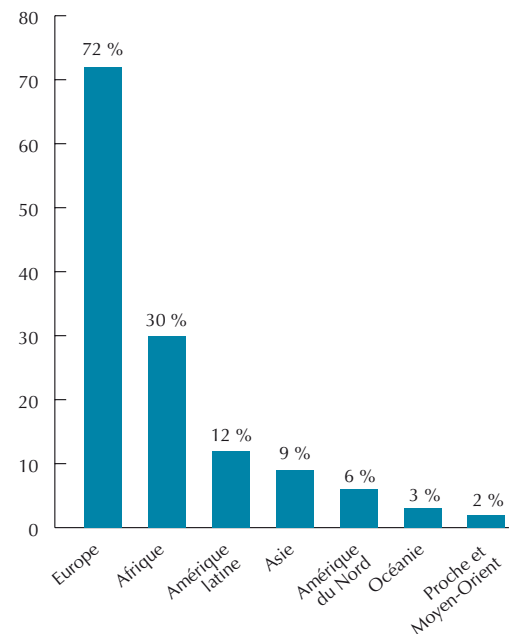


Figure 10. Origine géographique des coauteurs des articles de revues à facteur d'impact.

Les manifestations scientifiques

En 2007, le Cirad a organisé ou coorganisé une vingtaine de congrès et de séminaires. Parmi ceux-ci, plusieurs conférences internationales, dont « Icope 2007 », sur l'huile de palme et l'environnement, organisée avec Smart Agribusiness and Food et la WWF, « Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique », organisé avec l'Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (Burkina Faso), « Pro-poor development in low income countries », un séminaire de l'Association européenne des économistes agricoles, organisé avec l'université de Montpellier, et « Does control of animal infectious risk offer a new international perspective? », une conférence de l'Association des institutions de médecine vétérinaire tropicale (AITVM).

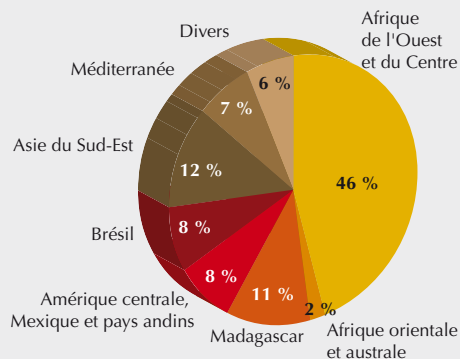
Le Cirad a, par ailleurs, participé à plusieurs salons, dont le Salon international de l'agriculture, à Paris, où il a présenté un stand, des animations et une journée de conférences sur le thème « Cocotier, arbre de vie, palmier à huile, culture d'avenir », et le Salon des énergies renouvelables « Energaïa », à Montpellier.

La formation, une mission essentielle

La formation, qu'elle soit technique ou scientifique, universitaire ou professionnelle, est l'une des missions du Cirad. En 2007, le Cirad a ainsi accueilli dans ses laboratoires 225 doctorants dont 135 en provenance d'un pays étranger. Il a également organisé 130 séjours scientifiques courts pour des chercheurs du Sud, dans ses laboratoires en métropole ou dans les départements d'outre-mer.

D'une manière générale, le Cirad développe ses alliances avec les établissements d'enseignement, afin de mieux insérer la recherche agronomique dans la dynamique actuelle des universités et d'inciter les étudiants à s'impliquer dans les thématiques de recherche du Cirad. Il est d'ores et déjà engagé dans 16 cursus de troisième cycle, en partenariat avec des universités ou des grandes écoles, en France et à l'étranger. La direction de la recherche et de la stratégie a, par ailleurs, pris l'initiative de financer des thèses pour les étudiants des établissements engagés aux côtés du Cirad. Une quarantaine de sujets ont ainsi été retenus en 2007. Cette dotation sera reconduite en 2008.

Répartition des doctorants étrangers selon leur origine géographique en 2007



De nouveaux masters

« Productions animales »

L'enseignement et la formation font pleinement partie des mandats du Cirad. Dans le domaine de l'élevage et de la médecine vétérinaire, cet enseignement a une longue histoire puisque les premières formations qualifiantes en élevage tropical ont été créées au début des années 1920. Plus récemment, un diplôme universitaire a été organisé par le Cirad avec les universités Paris XII puis Montpellier II. En 2005, un master de Productions animales en régions chaudes (Parc) était lancé. Il est habilité à la fois par l'université Montpellier II (master ouvert à tous) et par SupAgro, l'Ecole supérieure d'agronomie de Montpellier (master Duby réservé aux étrangers et aux Français justifiant d'au moins trois années de vie professionnelle). Il accueille chaque année une trentaine d'étudiants pour une soixantaine de candidatures. A la faveur des campagnes de réhabilitation des masters et afin d'ajuster au mieux l'enseignement au cursus d'origine des étudiants — agronomes, universitaires et vétérinaires — et à l'évolution des emplois dans le secteur, deux nouveaux parcours vont être proposés à partir de septembre 2008. L'un, « Elevage des pays du Sud : environnement et développement (Epsed) », est un cursus universitaire. L'autre, « Productions animales en régions chaudes (Parc) », est proposé par SupAgro. Largement impliqués dans ces deux parcours, les spécialistes du terrain y apportent leurs compétences et leur expérience de modules spécifiques.

Contact > Christophe Dalibard,
unité Enseignement et formation en élevage,
christophe.dalibard@cirad.fr

http://www.cirad.fr/ur/formation_elevage

Les moyens financiers

La couverture des charges d'exploitation par la subvention pour charge de service public (SCSP) est passée de 62,3 à 61,6 % de 2006 à 2007 (figures 11 et 12).

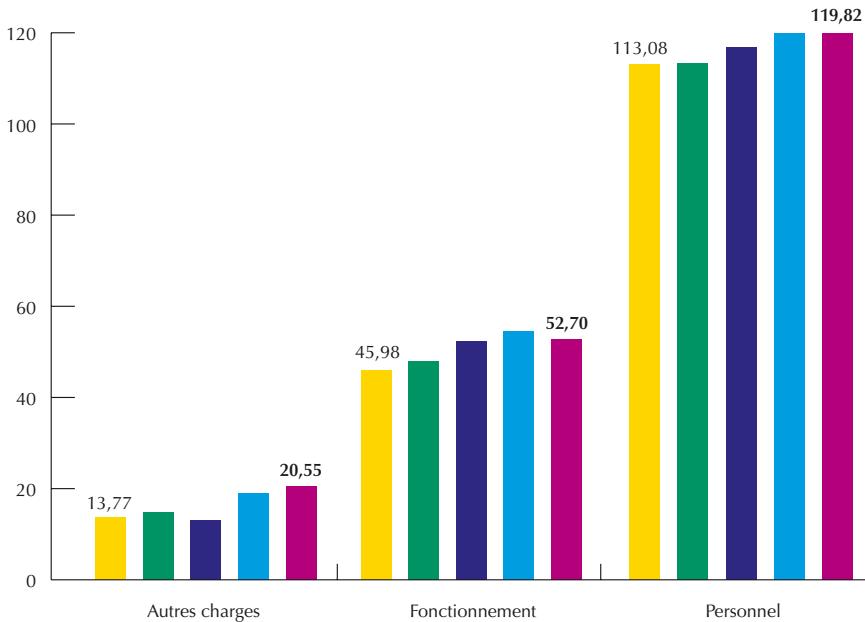


Figure 11. Dépenses d'exploitation (en millions d'euros).

Les produits externes par source de financement avec cotraitance sont détaillés dans la figure 13, pour un montant global de 54,8 millions d'euros.

Les produits externes hors cotraitance s'élèvent à 47,3 millions d'euros en 2007. Ils sont stables par rapport à 2006 (47,4 millions d'euros). La cotraitance sur les contrats pour lesquels le Cirad est en position de coordonnateur passe de 9,2 millions d'euros à 7,5 millions d'euros. Cette baisse s'explique essentiellement par la fin des contrats du 6^e Programme-cadre de recherche et de développement de la Communauté européenne (PCRD) alors que ceux du 7^e PCRD n'ont pas encore démarré.

Hors cotraitance, l'analyse de la répartition des produits externes par origine de financement confirme les mutations importantes qui se sont produites ces dernières années. Ainsi, l'Union européenne représente désormais 22,4 % du chiffre d'affaires, répartis entre les fonds de recherche et de développement (11,1 %) et les fonds structurels (11,3 %). Les autres clients, qui

regroupent le secteur privé et des fonds d'origine diverse non affectés en raison de leur moindre importance unitaire, atteignent 34 %. Ils incluent notamment les ventes de semences de palmier à huile, qui s'élèvent à 4 millions d'euros en 2007 contre 3,6 millions d'euros en 2006.

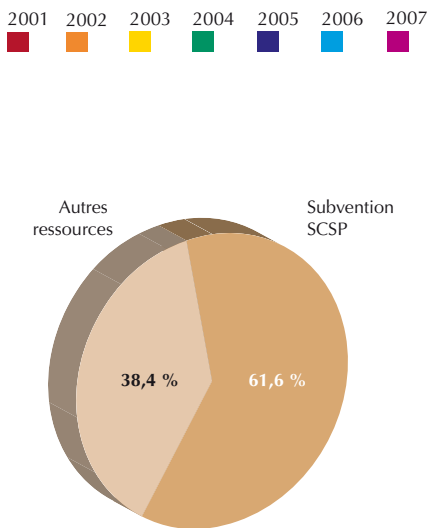


Figure 12. Couverture des charges par la subvention pour charge de service public.

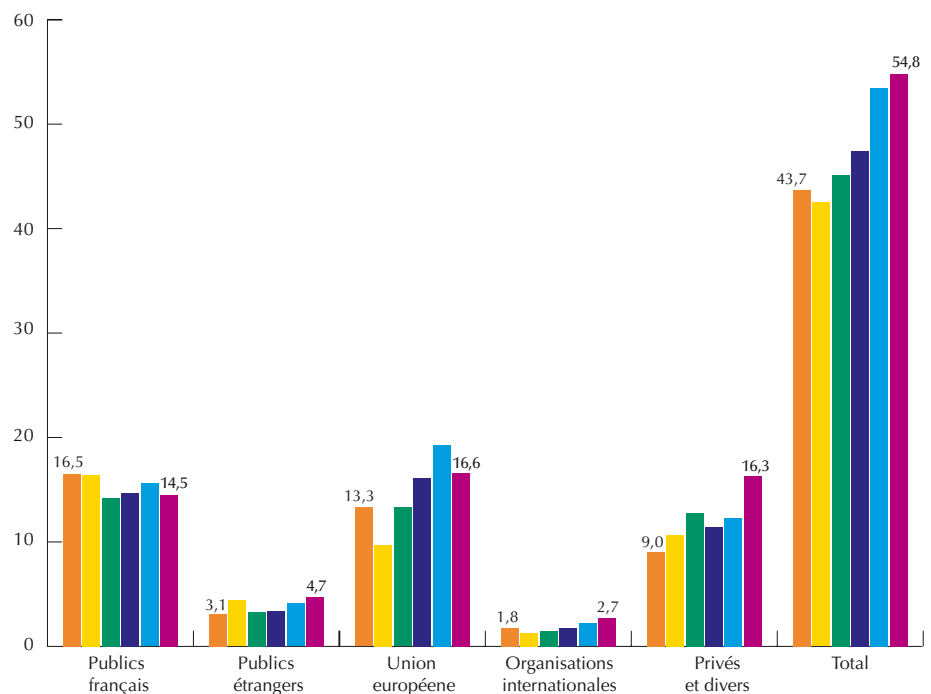


Figure 13. Origine des financements contractuels avec cotraitance (en millions d'euros).

La qualité, une priorité pour la recherche

La politique de la qualité a fait l'objet d'une déclaration du directeur général du Cirad le 7 février 2007. La démarche de qualité en recherche vise à maîtriser la traçabilité des actions, à améliorer la fiabilité des résultats et à mettre les activités ou les laboratoires en conformité avec des référentiels. Elle a pour objectif prioritaire l'amélioration collective des processus de production scientifique et concerne tous les acteurs de la recherche, y compris les gestionnaires et les agents de l'appui à la recherche.

En 2007, la première unité mixte de recherche (BGPI) a été certifiée. Au total, douze entités, dont dix laboratoires d'unités de recherche, soit 375 personnes (plus de 20 % de l'effectif total), sont engagées dans une démarche de certification ou d'accréditation de niveau 4, c'est-à-dire avec reconnaissance par une tierce partie selon le référentiel international Iso (International Organisation for Standardization).

La démarche de qualité concerne les activités et les laboratoires en métropole et dans l'outre-mer français, mais aussi les structures implantées en partenariat à l'étranger. Des actions spécifiques de sensibilisation, d'information et de formation aux démarches et aux outils de la qualité sont organisées. L'ensemble de ces activités au service de la politique générale du Cirad doit contribuer à renforcer la crédibilité et la notoriété de ses équipes de recherche en améliorant la qualité de leurs travaux.

Les structures certifiées ou accréditées

Structures	Norme	Effectif	Date de certification ou d'accréditation
Laboratoire d'analyses agronomiques, Montpellier	Iso 9001	21	Avant 2004
Laboratoire d'analyses agronomiques, Réunion	Iso 9001	8	Avant 2004
Laboratoire d'essai en préservation des bois, Montpellier	Certification CTBA* (Iso 17025)	8	Avant 2004
Laboratoire d'essai en préservation des bois (Production et valorisation des bois tropicaux), Montpellier	Iso 17025 (accréditation Cofrac)	8	2005
Système de management environnemental (unités de recherche et de services d'élevage et de médecine vétérinaire à Baillarguet), Montpellier	Iso 14001	180	2005
Laboratoire de qualité du caoutchouc naturel, Montpellier	Iso 9001	4	2006
UMR Biologie et génétique des interactions plantes-parasites pour la protection intégrée (BGPI), Montpellier	Iso 9001	74	2007
Laboratoire de santé animale, Montpellier	Iso 17025	43	En cours
Laboratoire de santé animale, Guadeloupe	Iso 17025	10	En cours
Laboratoire des semences et des ressources génétiques (LSRG), Centre de ressources biologiques (CRB) du riz, Montpellier	Iso 9001 (accréditation CRB selon les prescriptions de l'OCDE**)	6	En cours
Laboratoire d'analyse sensorielle et laboratoire chimie du café (UMR Qualisud), Montpellier	Iso 17025	8	En cours
Laboratoire de qualité du coton, Montpellier	Iso 17025	13	En cours

* CTBA : Centre technique du bois et de l'ameublement.

** OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques.

Les partenariats

Les actions incitatives

Douze actions thématiques programmées (ATP) mobilisent des chercheurs appartenant à plusieurs départements et unités sur une durée d'environ deux ans (tableau II). Sur les six projets fédérateurs existant en 2006, cinq sont arrivés à terme, seul le projet Arpège (Architecture racinaire des plantes : facteurs environnementaux et génétiques) s'est poursuivi jusqu'à la fin de 2007.

Tableau II. Les actions thématiques programmées en 2007.

Caractérisation et évaluation des performances agroécologiques de systèmes de culture plurispécifiques en zone tropicale humide	Responsable : F. Enjalric
Conception des innovations et rôle du partenariat	Responsable : M. Dulcire
Développement de vaccins biologiques alimentaires contre des pathologies animales exotiques et émergentes	Responsable : L. Dedieu
Elevage, mondialisation et territoires : rôle des institutions dans la compétitivité et accès aux marchés des régions d'élevage	Responsable : G. Duteurtre
Évaluation intégrée des performances des systèmes de culture agroécologiques multispécifiques à base d'annuelles en zones tropicales	Responsable : E. Scopel
Imagerie 3D et modélisation géométrique des méristèmes : vers un méristème virtuel	Responsable : J.L. Verdeil
Intégration régionale et sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest	Responsable : F. Lançon
L'interférence ARN, une méthode pour l'induction de la résistance chez la plante et l'animal	Responsable : M.L. Caruana
Médiation entre acteurs pour l'affectation des terres (Réunion et Sénégal)	Responsable : A. Botta
Normes sanitaires, relations marchandes et filières aquacoles en Asie du Sud-Est	Responsable : L. Dabbadie
Plasticité phénotypique des plantations pérennes sous contrainte hydrique au champ	Responsable : J.M. Gion
Reproduire des plantes, reproduire une société	Responsable : C. Leclerc

Les projets de l'Agence nationale de la recherche

En 2007, le Cirad a participé à 22 projets financés par l'Agence nationale de la recherche (ANR). Il a reçu 3 millions d'euros de subventions pour mener à bien des projets sur la biodiversité, la biomasse-énergie, les maladies émergentes, le développement durable des pays émergents..., en partenariat avec d'autres organismes de recherche, des universités et des entreprises (tableau III).

Tableau III. Les projets financés par l'ANR en 2007.

Biodiversité et stratégies adaptatives végétales et microbiennes des écosystèmes ultramarins en Nouvelle-Calédonie (Ultrabio)	Responsable : M. Lebrun
Community ecology of rodents and their pathogens in South-East Africa: effects of biodiversity changes and implications in health ecology (Ceropath)	Responsables : R. Frutos, A. Tran
Comprendre les émergences des maladies fongiques des plantes : vers une estimation des risques liés aux changements globaux (Emerfundis)	Responsable : J. Carlier
Construction of a high-density RH panel and map of tilapia (Percimap)	Responsable : J.F. Baroiller
Déplacements collectifs chez les vertébrés grégaires : étude expérimentale, contrôle et modélisation de la dynamique de groupes de moutons (Panurge)	Responsable : A. Ickowicz
Dynamiques territoriales à la périphérie des métropoles du Sud (Perisud)	Responsable : P. Moustier
Étude à grande échelle des génomes des mycoplasmes de ruminants : évolution et adaptation de bactéries minimales à des hôtes complexes (Evolmyco)	Responsable : F. Thiaucourt
Évolution de la diversité des ressources génétiques domestiquées dans le bassin du lac Tchad (Plantadiv)	Responsable : H. Joly

Tableau III. (suite)

Exploration de la biodiversité enzymatique pour la compréhension du secrétome de <i>Trichoderma reesei</i> afin d'améliorer l'hydrolyse des lignocelluloses (E-Tricel)	Responsables : A. Zaremski, P.M. Coutinho
Génétique et génomique de la résistance de l'hévéa à <i>Microcyclus ulei</i> (Genesalb)	Responsable : M. Seguin
Impact sur les modalités d'accès aux semences (Imas)	Responsables : D. Bazile, J. Chantereau
Incendies et biodiversité des écosystèmes en Nouvelle-Calédonie (Inc)	Responsable : L. Maggia
Increasing the potential of biofuel production from ligno-cellulosic biomass of grasses through genetic and genomic approaches of cell wall based on maize as a model system (Grassbiofuel)	Responsable : J.F. Rami
Le comportement des pays émergents dans la gouvernance du développement durable : contestation, conservation ou réforme ? (Bics)	Responsable : T. Voituriez
Modelling dynamic landscape with spatial, temporal and multiscale primitives (Stamp)	Responsable : D. Lo Seen
Procédé éco-innovant de traitement multifonctionnel de préservation et d'ignifugation des bois par bi-oléothermie (Piboleo)	Responsable : J. Gérard
Protection contre les insectes ravageurs apportée par l'expression du gène <i>pa1</i> du pois chez les céréales : application du modèle du riz PA1 au blé et au maïs (Cerealprotect)	Responsable : J.C. Bretiler
Rural micro-finance and employment: do processes matter? (Rume)	Responsable : E. Bouquet
Stabilizing yield under abiotic constraints: functional characterisation of Orphan genes in <i>A. thaliana</i> and application in rice (Frog)	Responsable : E. Guiderdoni
Structural and functional annotation platform supported by comparative genomics and dedicated to plant and bio-aggressor genomes (Gnpannot)	Responsable : S. Sidibe-Bocs
Symbiosis, digestion and reproduction as <i>Aphid</i> physiological processes to identify new targets for insecticides (Aphicibles)	Responsable : J.C. Bretiler
Valorisation des déchets de scierie et des ressources sylvicoles sous-exploitées en Guyane française : évaluation du potentiel industriel des molécules extractibles (Xylotech)	Responsable : N. Amusant

Les projets européens

L'année 2007 a été marquée par le démarrage du 7^e programme-cadre de recherche et de développement de la Communauté européenne (PCRD). La disparition du guichet Inco, qui permettait, dans les 5^e et 6^e PCRD, de financer les projets de recherche conduits avec les pays du Sud, le peu de sujets ouverts en 2007 spécifiquement à la coopération internationale et la forte compétition entre les équipes européennes de recherche pour répondre aux appels à propositions ont eu des répercussions sur la participation du Cirad dans le PCRD.

Sur les 33 propositions auxquelles le Cirad a contribué, 10 ont été retenues pour être financées (tableau IV). Cependant, aucun de ces projets n'est coordonné par le Cirad. Les résultats du Cirad sont toutefois satisfaisants en ce qui concerne le taux de réussite en réponse aux appels à propositions (30 %) et la contribution financière de la Commission européenne sur ces projets. Le Cirad est partenaire d'un Eranet sur la Méditerranée et de projets de recherche et d'actions de coordination dans les thématiques « Santé » et « Agriculture, alimentation et biotechnologies ». Il participe également aux Inconet ciblés sur l'Amérique latine, l'Asie du Sud-Est et l'Afrique, dans le programme Capacité. Il contribuera ainsi à la définition des sujets de recherche importants à traiter, pour ces régions, dans les futurs appels à propositions du programme Coopération.

En 2008, le programme Coopération du 7^e PCRD devrait offrir plus d'opportunités et permettre au Cirad de monter des projets en tant que coordinateur sur des sujets qui intéressent à la fois ses partenaires du Sud et l'Europe, et qui nourrissent sa propre stratégie scientifique.

Tableau IV. Les projets européens retenus en 2007.

Coordination and advancement of sub-Saharan Africa-EU science and Technology Cooperation Network (Caastnet)	Contact : J. Ganry
Coordination of agricultural research in the Mediterranean (Arimnet)	Contact : M. Trebel
Enhancements of pest risk analysis techniques (Pratiques)	Contact : B. Reynaud

Tableau IV. (suite)

EU-based production and exploitation of alternative rubber and Latex Sources (EU-Pearls)	Contact : S. Palu
European Union-Latin American research and innovation networks (Euralinet)	Contact : A. de Courville, J.M. Sers
Evaluating and controlling the risk of African swine fever in the EU (Asfrisk)	Contact : E. Albina
Facilitating the bi-regional EU-Asean science and technology dialog (Sea-EU-Net)	Contact : J. Sainte-Beuve, S. Saletes
International network for capacity building for the control of emerging viral vector borne zoonotic diseases (Arbo-Zoonet)	Contact : C. Cetre-Sossah, V. Chevalier
Portable automated test for fast detection and surveillance of influenza (Porfastflu)	Contact : E. Albina
Sustainable aquaculture research networks in sub-Saharan Africa (Sarnissa)	Contact : J. Lazard

Les pôles de compétence et les unités de recherche en partenariat

A l'étranger, un cinquième pôle de compétence en partenariat (PCP) a été labellisé, pour la première fois en Amérique latine. Ces pôles regroupent les chercheurs et les moyens de différentes institutions, autour d'une thématique commune qui répond à des enjeux de développement (tableau V). Ils offrent aux chercheurs un environnement optimal et stable pour mener leurs travaux et se situer au sein de la communauté scientifique internationale. Ils favorisent la production de résultats scientifiques de qualité, l'élaboration d'outils de développement et la formation de jeunes chercheurs de toutes origines. A cela s'ajoute une déontologie du partenariat dont la priorité est de veiller à l'égalité de décision des partenaires, qui sont associés dès la conception des projets. Les projets, inscrits dans les programmations nationales, prévoient le transfert des compétences, l'accès aux informations, la publication et l'exploitation en commun des résultats.

Tableau V. Les pôles de compétence en partenariat.

Gestion des écosystèmes de savane (Gesed), Mali	Partenaires : Institut d'économie rurale (IER, Mali), Institut polytechnique rural (IPR, Mali)
Gestion intégrée des agricultures familiales dans les écosystèmes agroforestiers humides (Grand Sud Cameroun), Cameroun	Partenaires : Institut de recherche agricole pour le développement (Irad, Cameroun), universités de Yaoundé 1 et de Dschang (Cameroun)
Markets and agriculture linkages for cities of Asia (Malica), Vietnam	Partenaires : Académie vietnamienne des sciences agricoles (Vaas), Centre de recherche et de développement sur les systèmes agraires (Casrad) de l'Institut de recherche sur les cultures vivrières et alimentaires (FCRI), Centre de recherche sur les fruits et légumes (Favri), Centre de développement rural (Rudec) de l'Institut de politiques et stratégies pour l'agriculture et le développement rural (Ipsard)
Pôle de recherche sur l'intensification des systèmes d'élevage (Prise), Vietnam	Partenaires : Institut national de l'élevage (NIAH), Institut national de recherches vétérinaires (Nivr), Université agronomique de Hanoi (HAU), Centre de développement rural (Rudec) de l'Institut de politiques et stratégies pour l'agriculture et le développement rural (Ipsard)
Systèmes agroforestiers à base de cultures pérennes, Costa Rica	Partenaires : Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie, Costa Rica), Centre for Agriculture and Bioscience International (Cabi, Royaume-Uni), Instituto Centroamericano de Administración e Empresas (Incae, Costa Rica), Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura de Centroamérica (Promecafé, Guatemala, Costa Rica)

Trois unités de recherche en partenariat (URP), à Madagascar et au Sénégal, viennent compléter ce dispositif (tableau VI). Elles associent des équipes du Cirad à celles d'autres établissements de recherche et d'enseignement supérieur, avec un statut analogue à celui des unités mixtes de recherche. Ce statut renforce l'inscription des équipes dans les systèmes nationaux d'enseignement supérieur et de recherche, leur visibilité internationale et leur reconnaissance par rapport aux standards académiques.

Tableau VI. Les unités de recherche en partenariat.

Gestion des forêts malgaches et de leur biodiversité (Forêts et biodiversité)	Partenaires : Centre national de la recherche appliquée au développement rural (Fofifa, Madagascar), université d'Antananarivo
Pastoralisme	Partenaires : Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra, Sénégal), Centre de suivi écologique (CSE, Sénégal), Ecole nationale d'économie appliquée (Enea, Sénégal), Université Cheikh Anta Diop (Ucad, Sénégal)
Systèmes de culture et rizicultures durables (Scrid)	Partenaires : Centre national de la recherche appliquée au développement rural (Fofifa, Madagascar), université d'Antananarivo

Les pôles et les centres à vocation régionale

Le dispositif structurant du Cirad à l'étranger s'appuie également sur des pôles ou des centres de dimension régionale ou internationale. Les centres du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI) entrent dans ce dispositif tout comme, en Amérique centrale, le Catie (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) ou, en Asie du Sud-Est, l'AIT (Asian Institute of Technology). En Afrique, les pôles régionaux de coordination scientifique sont des cellules de coordination inter-Etats, qui dépendent des communautés régionales économiques et mobilisent les systèmes nationaux de recherche agricole. Le Prasac, Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale, est ainsi un outil spécialisé de la Cemap, la Communauté économique et monétaire d'Afrique centrale. La cellule est basée à N'Djamena, au Tchad, et reçoit une aide budgétaire annuelle de la Cemap. Elle mobilise des financements du ministère des Affaires étrangères et de la Banque africaine de développement, et coordonne des actions de recherche mises en œuvre par les structures nationales au Cameroun, au Tchad et en République centrafricaine.

Quatre centres régionaux ou à vocation régionale sont partenaires du Cirad en Afrique : le Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (Cirdes) au Burkina Faso ; le Centre africain de recherche sur bananiers et plantains (Carbap) au Cameroun ; le Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse (Ceraas) au Sénégal ; l'Unité de recherche sur la productivité des plantations industrielles (UR2PI) au Congo.

L'organisation en avril 2008

Conseil d'administration

Président

Patrice Debré, professeur des universités

Didier Hoffschir, représentant le ministre délégué à l'enseignement supérieur et à la recherche

Antoine Grassin, représentant le ministre délégué à la coopération et au développement

X, représentant le ministre délégué au budget et à la réforme de l'Etat

Jean-Louis Buër, représentant le ministre de l'agriculture et de la pêche

Pierre Brunhes, représentant le ministre des départements et des territoires d'outre-mer

Jean-François Girard, président de l'Institut de recherche pour le développement

Marion Guillou, présidente de l'Institut national de la recherche agronomique

Christiane Lambert, vice-présidente de la Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles, présidente de Vivea

Haïdara Lansry Nana Yaya, commissaire à la Sécurité alimentaire du Mali

Jean-Michel Severino, directeur général de l'Agence française de développement

Laurence Tubiana, directrice de l'Institut du développement durable et des relations internationales

Martine Antona

Michel Benoit-Cattin

Patrick d'Aquino

Tristan Durand-Gasselin

Laurent Maggia

Philippe Vaast

Secrétaire

Jean-Louis Muron

Conseil scientifique

Président

Bernard Chevassus-au-Louis, Inra, France

Bonnie Campbell, université de Québec, Canada

Marie-Christine Cormier-Salem, IRD, France

Bernard Delay, CNRS, France

Yaye Kene Gassama Dia, ministère de la Recherche, Sénégal

Gnissa Konate, Inera, Burkina Faso

Yves Savidan, IRD, France

Claudine Schmidt-Lainé, Cemagref, France

Serge Svizzero, université de la Réunion, France

Marie-Line Caruana

Jacques Lançon

Raphaël Morillon

Laurence Ollivier

Vincent Ribier

Comité consultatif commun Inra-Cirad d'éthique pour la recherche agronomique

Président

Louis Schweitzer, président de la Haute autorité de lutte contre les discriminations et pour l'égalité

Charles Babinet †, Institut Pasteur

Fifi Benaboud, Centre Nord-Sud du Conseil de l'Europe

Soraya Duboc, ingénieur agroalimentaire en entreprise

Jean-Michel Besnier, université Paris VI

René Blanchet, université de Nice-Sophia Antipolis

Gilles Bœuf, université Pierre et Marie Curie,

président du conseil scientifique du Muséum national d'histoire naturelle

Marcel Bursztyn, université de Brasilia

Claude Chéreau, ancien ambassadeur à la FAO

Didier Fassin, université Paris XIII, Ecole des hautes études en sciences sociales

Guy Paillotin, Académie d'agriculture de France

Gérard Toulouse, Ecole normale supérieure

Dominique Vermersch, Agrocampus de Rennes

Heinz Wismann, Ecole des hautes études en sciences sociales

Direction générale

Gérard Matheron, directeur général
Jean-Louis Muron, conseiller
Alain Weil, conseiller
Jacques Pages, conseiller
Gilles Mandret, directeur régional Réunion-Mayotte

**Direction
de la recherche
et de la stratégie**

Etienne Hainzelin, directeur
Gilles Saint-Martin, adjoint au directeur, directeur
des relations européennes et internationales
Dany Griffon, délégué à l'évaluation
Martin-Eric Loffeier, délégué aux chantiers stratégiques
Hubert Omont, délégué aux filières tropicales
Claudie Dreuil, déléguée aux actions incitatives
Mireille Mourzelas, déléguée pour les échanges
scientifiques internationaux
Véronique Vissac-Charles, déléguée à la valorisation
Marie-Claude Deboin, déléguée à l'information
scientifique et technique

**Secrétariat
général**

Hervé Deperrois, secrétaire général
Patrick Herbin, secrétaire général adjoint,
délégué juridique
Marc Gélis, directeur de la comptabilité et des affaires
financières
Vincent Fabre-Rousseau, directeur des ressources
humaines

Philippe Godon, directeur régional Antilles-Guyane
Léandre Mas, délégué à la qualité
Anne Hébert, déléguée à la communication
Joël Sor, délégué aux systèmes d'information
Anne-Yvonne Le Dain, déléguée aux évaluations

Pierre-Luc Pugliese, délégué pour l'outre-mer français
Hubert Guérin, délégué pour l'Afrique et l'océan Indien
André de Courville, délégué pour l'Amérique latine
et les Caraïbes
Michel Trébel, délégué pour les pays méditerranéens
et le Proche-Orient
Catherine Marquié, déléguée pour l'Europe
communautaire
Christian Hoste, délégué aux systèmes européens
et internationaux de recherche agricole

Didier Servat, directeur technique des aménagements
et de la maintenance
André Nau, délégué au contrôle de gestion
Marie-Gabrielle Bodart, déléguée aux archives
Aleth de Sartiges, ingénieur sécurité

Départements et unités de recherche**Département
Systèmes
biologiques**

Jean-Christophe Glaszmann, directeur
Dominique Berry, directeur adjoint
Xavier Mourichon, adjoint au directeur
Jean-Marc Deboin, responsable des affaires financières

Unités de recherche*

Agrobiodiversité des plantes de savanes (UPR),
Jacques Chantereau
Amélioration génétique d'espèces à multiplication
végétative (UPR), Robert Domaingue
Amélioration génétique du palmier à huile (UPR),
Tristan Durand-Gasselien
Biologie et génétique des interactions plantes-parasites
pour la protection intégrée (UMR BGPI),
Jean-Loup Notteghem, SupAgro (SupAgro, Inra)
Botanique et bio-informatique de l'architecture
des plantes (UMR Amap), Daniel Barthélémy, Inra
(CNRS, Inra, IRD, université Montpellier II)
Centre de biologie et gestion des populations
(UMR CBGP), Denis Bourguet, Inra (SupAgro, Inra, IRD,
université Montpellier II)
Centre d'écologie fonctionnelle évolutive (UMR Cefe),
Jean-Dominique Lebreton, CNRS (CNRS, universités
Montpellier I, II et III, SupAgro, EPHE)
Commercialisation du matériel végétal (US),
Christian Picasso
Contrôle des maladies animales exotiques et émergentes
(UPR), Dominique Martinez
Création variétale et peuplements de riz (UPR),
Nourollah Ahmadi

Développement et amélioration des plantes (UMR Dap),
Françoise Dosba, SupAgro (SupAgro, Inra, IRD,
université Montpellier II, CNRS)

Diversité et adaptation des plantes cultivées
(UMR DIAPC), Serge Hamon, IRD (IRD, SupAgro, Inra,
université Montpellier II)

Diversité génétique et amélioration des espèces
forestières (UPR), Jean-Marc Bouvet

Ecologie et maîtrise des populations d'acridiens (UPR),
Michel Lecoq

Enseignement et formation en élevage (US),
Christophe Dalibard

Jaunissement mortel du cocotier et greening des agrumes
(UPR), Michel Dollet

Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes
(UMR LSTM), Bernard Dreyfus, IRD (SupAgro, Inra, IRD,
université Montpellier II)

Maîtrise des bioagresseurs des cultures pérennes (UPR),
Christian Cilas

Peuplements végétaux et bioagresseurs en milieu tropical
(UMR PVBMT), Bernard Reynaud (université Réunion)

Plasticité phénotypique et performances des cultures
(UPR), Michael Dingkuhn

Résistance des plantes aux bioagresseurs (UMR RPB),
Michel Nicole, IRD (IRD, université Montpellier II)

Trypanosomes (UMR), Gérard Cuny, IRD (IRD)

Unité de service agricole en Guyane (US),
Jean-Louis Pradon

**Département
Performances
des systèmes
de production
et de transformation
tropicaux**

Robert Habib, directeur
Marcel de Raïssac, directeur adjoint
André Rouzière, adjoint au directeur
Jacques Nolin, responsable des affaires financières

Unités de recherche*

Analyses des eaux, sols et végétaux (US), Alain Aventurier
Aquaculture et gestion des ressources aquatiques (UPR), Jérôme Lazard
Biomasse-énergie (UPR), Christian Sales
Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité (UMR Qualisud), Jean-Pierre Pain, université Montpellier II (universités Montpellier I et II, SupAgro)
Élevage des ruminants en régions chaudes (UMR ERRC), François Bocquier, SupAgro (SupAgro, Inra)
Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (UMR System), Jacques Wery, SupAgro (SupAgro, Inra)
Fonctionnement et pilotage des écosystèmes de plantations (UPR), Jean-Pierre Bouillet
Génie des procédés d'élaboration des bioproduits (UMR GPBE), Alain Grasmick, université Montpellier II (SupAgro, universités Montpellier I et II)

Horticulture (UPR), Philippe Vernier
Ingénierie des agropolymères et technologies émergentes (UMR Iate), Stéphane Guilbert, SupAgro (SupAgro, Inra, université Montpellier II)
Performance des systèmes de culture des plantes pérennes (UPR), Jean-Luc Battini
Production et valorisation des bois tropicaux (UPR), Jean Gérard
Production fruitière intégrée (UPR), Rémy Hugon
Qualité des fruits et légumes tropicaux (UMR Qualitrop), Louis Fahrasmane, Inra (Inra, université Antilles-Guyane)
Risque environnemental lié au recyclage (UPR), Hervé Saint Macary
Systèmes de culture annuels (UPR), Florent Maraun
Systèmes de culture bananes, plantains et ananas (UPR), François Côte
Systèmes de culture et rizicultures durables (URP Scrid), Julie Dusserre (Fofifa, université d'Antananarivo)
Systèmes de semis direct sous couverture végétale (UPR), Francis Forest

**Département
Environnements
et sociétés**

Patrick Caron, directeur
Bernard Mallet, directeur adjoint
Brigitte Nésius, responsable des affaires financières

Unités de recherche*

Actions collectives, politiques et marchés (UPR), Jacques Marzin
Animal et gestion intégrée des risques (UPR), François Monicat
Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (UMR Cired), Jean-Charles Hourcade, CNRS-EHESS (CNRS, EHESS, Engref, ENPC)
Dynamique des forêts naturelles (UPR), Sylvie Gourlet-Fleury
Ecologie des forêts de Guyane (UMR Ecofog), Bernard Thibaut, CNRS (CNRS, Engref, Inra, université Antilles-Guyane)
Gestion de l'eau, acteurs et usages (UMR G-eau), Patrice Garin, Cemagref (Cemagref, Engref)

Gestion des forêts malgaches et de leur biodiversité (URP Forêts et biodiversité), Pascal Danthu (Fofifa, université d'Antananarivo)
Gestion des ressources renouvelables et environnement (UPR), Martine Antona
Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (UMR Innovation), Hubert Devautour (SupAgro, Cnearc, IAMM, Inra)
Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs (UMR Moisa), Jean-Louis Rastoin, SupAgro (SupAgro, Inra, CIHEAM, IRD)
Pastoralisme (URP), Amadou Tamsir Diop, Isra (Isra, Ucad, CSE, Enra)
Ressources forestières et politiques publiques (UPR), Alain Billand
Systèmes d'élevage et produits animaux (UPR), Didier Richard
Territoires, environnement, télédétection et information spatiale (UMR Tetis), Pascal Kosuth, Cemagref (Cemagref, Engref)

* UMR : unité mixte de recherche.

UPR : unité propre de recherche.

URP : unité de recherche en partenariat.

US : unité de service.

Le dispositif géographique

France

Ile-de-France

Patrick Herbin, directeur régional
42, rue Scheffer, 75116 Paris
Tél. : +33 1 53 70 20 21
patrick.herbin@cirad.fr

Languedoc-Roussillon

Emmanuel Camus, directeur régional
Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5
Tél. : +33 4 67 61 58 01
emmanuel.camus@cirad.fr

Corse

Dominique Agostini, directrice
Station de recherche agronomique Inra
20230 San Giuliano
Tél. : +33 4 95 59 59 21
agostini@corse.inra.fr

Antilles-Guyane

Philippe Godon, directeur régional
Station de Neufchâteau, Sainte-Marie
97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe
Tél. : +590 5 90 86 17 90 / +06 94 45 10 22
philippe.godon@cirad.fr

Sylvie Mouras, représentante régionale
BP 701, avenue de France
97387 Kourou Cedex, Guyane
Tél. : +594 5 94 32 73 52
sylvie.mouras@cirad.fr

Christian Chabrier, représentant régional
BP 214
97285 Le Lamentin Cedex 2, Martinique
Tél. : +596 5 96 42 30 44
christian.chabrier@cirad.fr

Réunion-Mayotte

Gilles Mandret, directeur régional
Station de La Bretagne, BP 20
97408 Saint-Denis Messageries Cedex 9, Réunion
Tél. : +262 2 62 52 80 00 /
+262 6 92 76 30 69
gilles.mandret@cirad.fr

Bernard Dolacinski, correspondant
BP 1304
97600 Mamoudzou, Mayotte
Tél. : +269 61 21 21
bernard.dolacinski@cirad.fr

Afrique

Afrique centrale

Sylvie Lewicki-Dhainaut, directrice régionale
BP 2572, Yaoundé, Cameroun
Tél. : +237 2 21 25 41 / +237 96 33 75 37
sylvie.lewicki_dhainaut@cirad.fr

Yves Nouvellet, correspondant
BP 1292, Pointe-Noire, Congo
Tél. : +242 94 47 95 / +242 524 69 48
yves.nouvellet@cirad.fr

Afrique orientale et australe

Denis Depommier, directeur régional
C/o Icrat, United Nations Avenue
Gigiri, PO Box 30677
00100 Nairobi, Kenya
Tél. : +254 20 722 46 53 / +254 723 274 069
cirad-afora@cgiar.org

Stefano Farolfi, correspondant
Centre for Environmental Economics
and Policy in Africa (Ceepa)
University of Pretoria, 0002 Pretoria, Afrique du Sud
Tél. : +27 12 420 4659 / +27 79 495 2155
stefano.farolfi@up.ac.za

Sébastien Le Bel, correspondant
French Embassy
37, Acturus Road Highlands
PO Box 1378
9, Balmoral Road, Borrowdale
Harare, Zimbabwe
Tél. : +263 4 44 34 22 / +263 912 352 384
sebastien.le_bel@cirad.fr

Afrique de l'Ouest continentale

Michel Partiot, directeur régional
01 BP 596, Ouagadougou 01, Burkina Faso
Tél. : +226 50 30 70 70 / +256 70 20 57 45
michel.partiot@cirad.fr

Patrick Prudent, correspondant
08 BP 1077- Centre de tri postal, Cotonou, Bénin
Tél. : +229 21 38 80 86 / +229 97 44 57 75
patrick.prudent@cirad.fr

Alain Renou, correspondant
BP 1813, Bamako, Mali
Tél. : +223 221 10 15 / +223 675 01 50
alain.renou@cirad.fr

Afrique de l'Ouest côtière

Georges Subreville, directeur régional
37, avenue Jean XXIII, BP 6189
Dakar-Etoile, Sénégal
Tél. : +221 33 822 44 84 / +221 77 637 18 78
georges.subreville@cirad.fr

Patrice de Vernou, correspondant
S/c SCAC, Ambassade de France
BP 570, Conakry, Guinée
Tél. : +224 30 45 50 52 / +224 63 35 24 95
patrice.de_vernou@cirad.fr

Madagascar

Thierry Goguey-Muethon, directeur régional
Ampandrianomby, BP 853, Antananarivo
Tél. : +261 20 22 406 23 / +261 32 07 114 22
thierry.goguey_muethon@cirad.fr

Amérique**Amérique centrale**

Bruno Rapidel, correspondant
 Catie, 7170 Apartado 3, Turrialba, Costa Rica
 Tél. : +506 558 25 99 / +506 93 82 98 39
 bruno.rapidel@cirad.fr

Brésil

Philippe Petithuguenin, directeur régional
 SHIS-QI 23, Bl. B. Ed. Top 23
 71660-120 Brasília DF, Brésil
 Tél. : +55 61 33 66 11 32 / +55 61 81 38 98 65
 philippe.petithuguenin@cirad.fr

Asie**Asie du Sud-Est continentale**

Jean-Charles Maillard, directeur régional
 Cirad Representative Office, 3rd floor
 35, Dien Bien Phu street
 Hanoi, Vietnam
 Tél. : +84 4 734 6775 / +84 9 12 25 89 02
 jean-charles.maillard@cirad.fr

Antoine Leconte, correspondant
 Cirad Office, Research
 and development building
 4th floor, Kasetsart University
 10900 Bangkok, Thaïlande
 Tél. : +66 29 42 76 27 / +66 89 888 5415
 antoine.leconte@cirad.fr

Inde

Lucie Cheynier, correspondante Inra-Cirad
 Scientific Department
 of the French Embassy in India
 2, Aurangzeb Road
 110 011 New Delhi
 Tél. : +91 11 30 41 00 08 / +91 99 58 54 99 91
 lucie.cheynier@hotmail.fr

Etats-Unis

Jill Barr, correspondante auprès de la Banque mondiale
 et de la Banque interaméricaine de développement
 Development Research Associates
 8313, Woodhaven blvd
 Bethesda 20817, Maryland
 Tél. : +1 301 365 68 55
 jbarr@cirad.fr

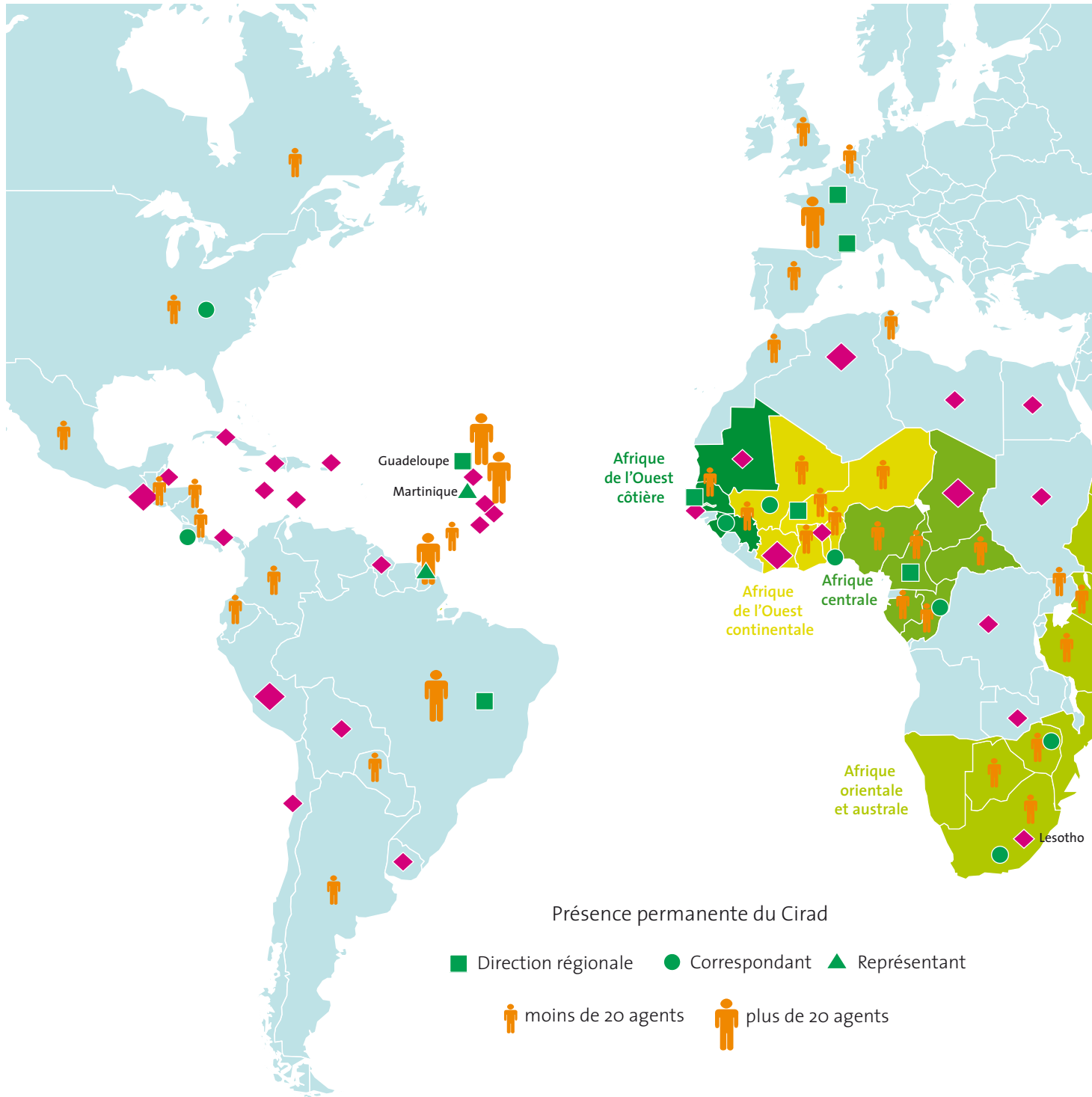
Asie du Sud-Est insulaire

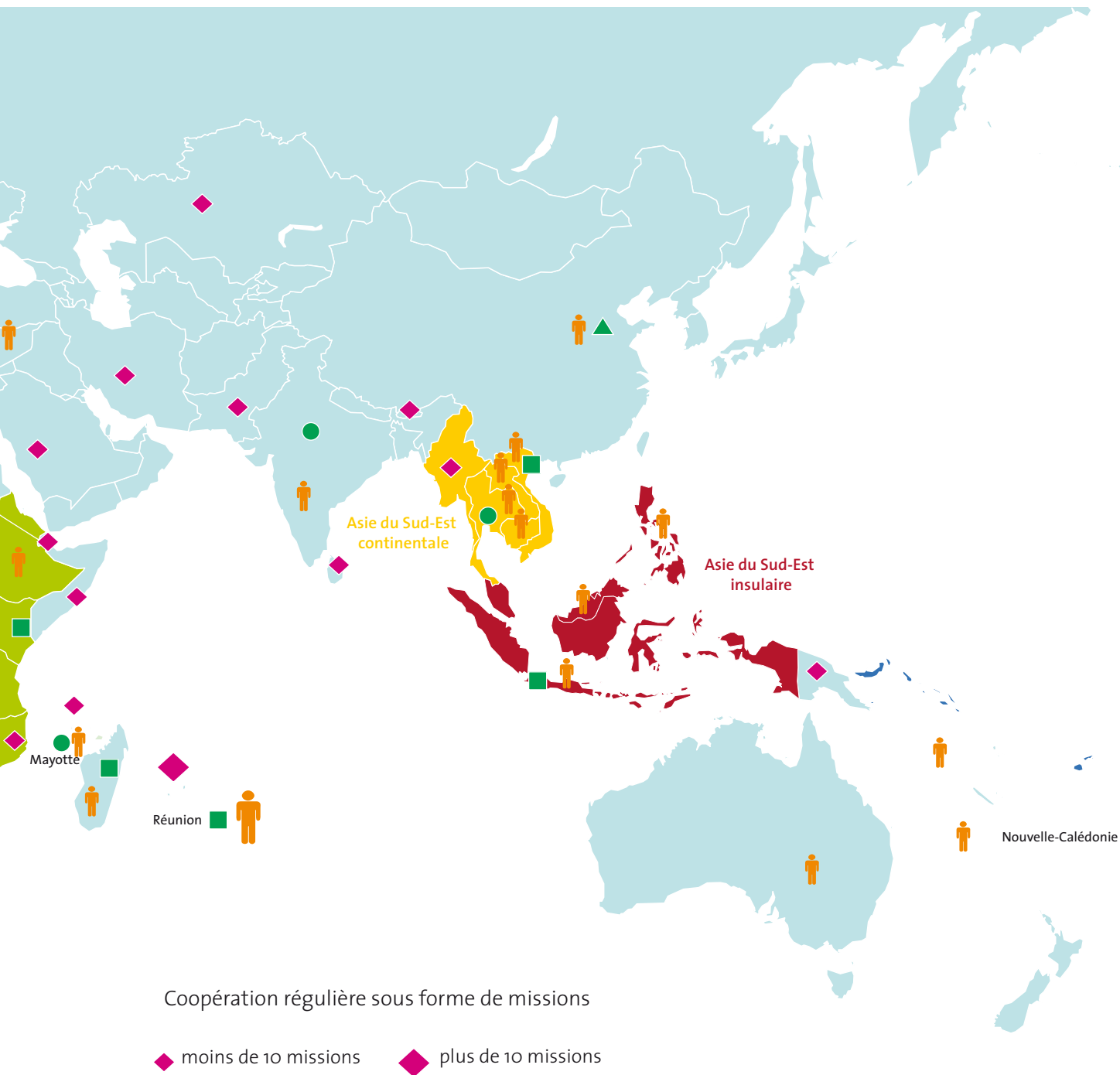
Jean-Guy Bertault, directeur régional
 Plaza Bisnis Kemang, 3rd floor
 Jalan Kemang Raya 2
 12730 Jakarta Selatan, Indonésie
 Tél. : +62 21 719 90 67 / +62 816 19 100 12
 cirad@idola.net.id

Chine

Zheng Li, représentant permanent Inra-Cirad
 507 Tower A, Fuhua Mansion
 8, Chaoyangmen North Avenue
 100027 Beijing
 Tél. : +86 10 6554 1871
 zhengliinra@sohu.com

Le Cirad dans le monde





Réalisation : Délégation à la communication

Coordination : Martine Lemaire

Rédaction : Martine Lemaire avec la collaboration de Cécile Fovet-Rabot, Nicole Pons et Christine Rawski

Correction : Jacques Bodichon, Aniane (34)

Conception graphique et mise en page : Patricia Doucet

Illustration de couverture : Nathalie Le Gall

Diffusion : Renée Graulières

Impression : Impact Imprimerie, Saint-Gély-du-Fesc (34)

Encres végétales - Imprimé sur papier provenant des forêts gérées durablement



Dépôt légal : juin 2008